

**VAASAN YLIOPISTO**

**TEKNILLINEN TIEDEKUNTA**

**SÄHKÖTEKNIikka**

Henrik Tarkkanen

**PAPERIKONEEN LINJAKÄYTTÖRATKAISUJEN TUOTTEISTAMINEN**

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Vaasassa 03.11.2011

Työn valvoja

Kimmo Kauhaniemi

Työn tarkastaja

Timo Vekara

Työn ohjaaja

Arto Sjöblom

**ALKULAUSE**

Tämä diplomityö on tehty Vaasa Engineering Oy:lle. Kiitän Vaasan yliopiston Kimmo Kauhaniemeä ja VEO:n Arto Sjöblomia työn valvonnasta ja ohjauksesta.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni koko opiskelujen aikaisesta tuesta ja kannustuksesta.

Vaasassa 03.11.2011

Henrik Tarkkanen

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE	2
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	4
TIIVISTELMÄ	6
ABSTRACT	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Yritysesittely ja tutkimuksen taustaa	8
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	9
2 PAPERITEOLLISUUDEN LINJAKÄYTTÖ	11
2.1 Paperikoneiden ratanopeudet eli ajonopeudet	11
2.2 Paperikoneen linjakäytön periaate	12
2.3 Paperikoneen sähkökäyttöjen kehitys	15
2.4 Sähkökäyttöjen tekniikka	26
2.4.1 Syöttöyksiköt	29
2.4.2 Vaihtosuuntaajayksiköt	37
3 PAPERIKONEEN ERI KÄYTTÖRYHMÄT	39
3.1 Viiraosa	40
3.2 Puristinosa	41
3.3 Kuivatusosa ja kalanterointi	43
3.4 Rullaus	44
4 TUOTTEISTAMINEN JA VAKIOINTI	48
4.1 Tuotteistamisen määrittely	48
4.2 Ohjelmistoja koskeva tuotteistaminen	51
4.3 Asiantuntijapalvelujen tuotteistaminen	53
4.4 Tuotteistamista vaikeuttavat tekijät	55
5 LINJAKÄYTTÖRATKAISUJEN VAKIOINTI	57
5.1 Linjakäyttöihin liittyvät ratkaisut	57
5.1.1 Linjakäyttöihin liittyvät mekaaniset rakenteet	61
5.1.2 Linjakäyttöihin liittyvät sähköiset piirikaaviomallit	67
5.2 Käyttöprojektien laskentatyökalut	73
5.3 Työn keskeiset tulokset yleisellä tasolla	77
6 YHTEENVETO	78
LÄHDELUETTELO	79
LIITTEET	84

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

ACS 600	Taajuusmuuttajatuoteperhe, johon kuuluvat erilliskäyttö (ACS 600 SingleDrive) ja linjakäyttö (ACS 600 MultiDrive)
ACU	Auxiliary Control Unit, apuohjausyksikkö
AFE	Active Front End, aktiivinen verkkosilta
ASIC	Application Specific Integrated Circuit, sovelluskohtainen integroitu piiri
BCU	Brake Chopper Unit, jarrukatkojyksikkö
CSI	Current Source Inverter, virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja
DCS	Distributed Control System, hajautettu ohjausjärjestelmä
DIN	Deutsches Institut für Normung, saksalainen standardointi-instituutti
DSP	Digital Signal Processor, digitaalisignaali prosessori
DSU	Diode Supply Section, diodisyöttöyksikkö
DTC	Direct Torque Control, suora momentinsäätö
DUT	$du/dt$ -filtteri
FFE	Fundamental Front-end, kaksisuuntainen tehonsyöttöyksikkö
FIU	Filter Unit Cabinet, tila, johon suodinyksikkö sijoitetaan
GTO	Gate Turn-Off Thyristor, hilalta ohjattu tyristori
HF	High Frequency, korkean taajuuden signaali
ICU	Incoming Unit Cabinet, tila, johon sisäänmenoyksikkö sijoitetaan
ID	Identifiointi, identifiointiajo
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor, eristehilatransistori
INU	Inverter Unit, invertteriyksikkö

MV	Medium Voltage, keskijännite
NAMC	Application and Motor Controller, moottorin ohjauskortti
NDCU	Drive Control Unit, käytön ohjausyksikkö
NFE	Non-regenerative Front End, ei-regeneratiivinen syöttöyksikkö, yksisuuntainen (ei-regeneratiivinen) tehonmuunnin Common DC bus-laitekokonaisuuden syöttöä varten
NIOC	Standard Input/Output Card, vakio I/O-kortti
NPBU	Optical Branching Unit, optinen haaroitusyksikkö
NTC	Negative Temperature Coefficient, lämpötilan muutokseen reagoiva komponentti
NXP	Vacon NXP taajuusmuuttaja
OEM	Original Equipment Manufacturer, alkuperäinen laitevalmistaja
PID	Proportional-Integral-Derivative, vahvistus-integroiva-derivoiva
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka, säätölaite
PM	Paper Machine, paperikone
PTC	Positive Temperature Coefficient, lämpötilan muutokseen reagoiva komponentti
PWM	Pulse-Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
RFI	Radio Frequency Interference, radiotaajuinen häiriö
TSU	Thyristor Supply Unit, tyristorisyöttöyksikkö
UPS	Uninterruptible Power Supply, tehoelektroniikan laite, joka takaa katkotoman sähkönsyötön kriittiselle kuormalle
VEO	Vaasa Engineering Oy
VSD	Variable Speed Drive, pyörimisnopeussäädetty käyttö
VSI	Voltage Source Inverter, taajuusmuuttaja jossa on jännitevälipiiri

---

**VAASAN YLIOPISTO****Teknillinen tiedekunta**

<b>Tekijä:</b>	Henrik Tarkkanen
<b>Diplomityön nimi:</b>	Paperikoneen linjakäyttöratkaisujen tuotteistaminen
<b>Valvoja:</b>	Kimmo Kauhaniemi
<b>Tarkastaja:</b>	Timo Vekara
<b>Ohjaaja:</b>	Arto Sjöblom
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööri
<b>Oppiaine:</b>	Sähkötekniikka
<b>Opintojen aloitusvuosi:</b>	2003
<b>Diplomityön valmistumisvuosi:</b>	2011

---

**Sivumäärä:85****TIIVISTELMÄ**

Tässä työssä käsiteltiin paperikoneen linjakäyttöratkaisujen tuotteistamista myynnistä tuotantoon. Vaasa Engineering Oy:lla (VEO) on vakioituja ratkaisuja sähköisten käyttösovellusten tuotteistamiseen. Tässä työssä pyrittiin koostamaan ja yhtenäistämään näitä vakioituja ratkaisuja. Työssä tarkasteltiin myös laskentatyökaluja, joihin kuuluu muun muassa Calctool. Kun vakioidut ratkaisut oli koostettu ja yhtenäistetty, ne linkitettiin laskentatyökaluun. Lisäksi työn tarkoituksena oli kehittää myyntimateriaalia.

Paperikoneen linjakäyttöön liittyy keskeisesti ohjaustekniikka, jonka avulla linjastoon liittyvät eri sähkömoottorit saadaan pyörimään samalla ratanopeudella. Paperin muodostus ja kuljettaminen eivät onnistu, mikäli yksi tai useampi moottoreista pyörii eri ratanopeudella kuin muut. Linjakäyttöön liittyviä keskeisiä käsitteitä ovat sähkömoottori, invertteri, välipiiri, syöttöyksikkö, PLC ja DCS.

VEO:n käytössä on paperikoneiden linjakäyttöihin liittyviä vakioituja mekaniikkaratkaisuja ja sähköisiä mallipiirikaavioita. Tämän työn tuloksena on saavutettu VEO:n suunnittelua, tuotantoa ja myyntiä helpottavia ja nopeuttavia elementtejä.

Tuotteistaminen on helpottanut mitoittamisen jälkeistä laskentaa ja suunnittelua sekä nopeuttanut tuotteiden hinnoittelua ja laitemäärittelyä. Vakioitujen pohjien mukaan tehtävä laitemääritys yksinkertaistaa ja nopeuttaa suunnitteluprosessia. Jokaisen projektin alussa ei tarvitse aloittaa piirikaavioratkaisun muodostamista uudelleen. Tuotteistettut mallit vaikuttavat myös erikoisratkaisuja koskevien prosessien hallintaan. Erikoisratkaisuihin voidaan käyttää vakioituja ratkaisuja, joihin tehdään yhden tai useamman osan muutokset. Jäljitettävyyden parantuminen vaikuttaa tuotteen elinkaaren hallintaan. Esimerkiksi sähkökeskuksien dokumentit ovat löydettävissä, vaikka mallit muuttuvat. Jäljitettävyys parantuu tuotteen tai tuotteiden vakioinnin ansiosta.

---

**AVAINSANAT:** paperikone, linjakäytöt, tuotteistaminen

---

**UNIVERSITY OF VAASA**
**Faculty of technology**

<b>Author:</b>	Henrik Tarkkanen
<b>Topic of the Thesis:</b>	Productization of Sectional Drive Solutions in Paper Machine
<b>Supervisor:</b>	Kimmo Kauhaniemi
<b>Evaluator:</b>	Timo Vekara
<b>Instructor:</b>	Arto Sjöblom
<b>Degree:</b>	Master of Science in Technology
<b>Major of Subject:</b>	Electrical Engineering
<b>Year of Entering the University:</b>	2003
<b>Year of Completing the Thesis:</b>	2011

**Pages:85****ABSTRACT**

The aim of this thesis was to productize sectional drive solutions in paper machine from sale to production. Vaasa Engineering Ltd. (VEO) has standardized solutions which are related to productization of electrical applications. The purpose of this Master's thesis was to gather and unify these standardized solutions. Calctool is one of the calculation equipment handled in this work. Special links are formed between Calctool and the standardized solutions. In addition sales material was developed along with this thesis.

This work deals with productization of sectional drive (line drive) solutions in paper machines. It's possible to achieve same line speed in paper machine with active control (sectional drive). Electric motors must rotate so that the line speed is same inside of one group. Precise control is a basis of the sectional drive. Electric motor, inverter, intermediate circuit, supply unit, programmable logic controller and distributed control system are terms which are closely related to sectional drives.

VEO uses standardized mechanical and electrical models for paper machine solutions. The achievements of this work are elements which make design, production and sales easier and quicker.

The benefits of productization include easier calculation and design after dimensioning. Design is faster when we use standardized models for specification of different equipment. It is easy to use old models to create a new project instead of going back to the starting point. Productized models are also useful when customer needs a special solution. Very often only a few changes are needed to make a customer satisfied. Life cycle monitoring and handling are more efficient when standardized products are used. This is an opinion which is related to traceability of products.

---

**KEYWORDS:** paper machine, sectional drives, productization

## 1. JOHDANTO

### 1.1. Yritysesittely ja tutkimuksen taustaa

VEO (Vaasa Engineering Oy) on sähkön jakeluun ja käyttöön keskittynyt energia-alan erikoisosaaja. Se toimittaa ratkaisuja erilaisten sähkövoimantuotannon osa-alueiden (vesivoimalat, tuulivoimalat, lämpövoimalat, dieselvoimalat, kaasuvoimalat) tarpeisiin. VEO:n tuottamat ratkaisut liittyvät prosessiautomaatioon (process automation), instrumentointiin (instrumentation) ja sähköistykseen (electrification). Yritys valmistaa sähkön jakelun ja siirron tarpeisiin sähköasemia (substations) sekä keskijännitekojeistoja (MV, switchgears) yrityksille ja teollisuuteen. VEO toimittaa sähkön käyttöön liittyviä ratkaisuja muun muassa teräs- ja paperiteollisuudelle, kaivostoimintaan, öljynjalostukseen ja laivateollisuuteen. Vaasa Engineering Oy:llä on viisi toimipistettä Suomessa ja lisäksi tehtaat Norjassa, Ruotsissa ja Venäjällä. Diesel- ja kaasuvoimapuolella Wärtsilä on VEO:n tärkeimpiä asiakkaita. Vesivoimaloita koskevia ratkaisuja toimitetaan kolmeen eri maahan ja asiakkaisiin kuuluvat muun muassa Savon Voima, Pohjolan Voima, Vattenfall, Eidsiva Energi, Katternö Group ja PKS.

Vaasa Service Oy on erikoistunut automaatio- ja sähköjärjestelmien asennus- ja kunnossapitotoimintaan. Yritys toteuttaa myös prosessien vaatimat instrumentti-, pneumaattikka- ja hydraulikka-asennukset. Vaasa Service Oy toimii erikokoisissa projekteissa ulkomailla ja Suomessa. Se vastaa toteutuksista vesi-, lämpö- ja dieselvoimalakohteissa ja sen lisäksi sähkönjakelu-, sähkönkäyttö- ja ylläpitokohteissa.

Vacon Oyj suunnittelee, valmistaa ja markkinoi taajuusmuuttajia. Vaconin tuotevalikoima kattaa koko tehoalueen 0,25 kW:sta 5 MW:iin. Yhtiön myynti-, tuki- ja huoltoverkosto on maailmanlaajuinen. Vaconin taajuusmuuttajilla prosessin tai tuotannon laatua ja tehokkuutta voidaan huomattavasti parantaa. Monissa tapauksissa taajuusmuuttajalla voidaan korvata myös hyvin monimutkaisia ohjausjärjestelmiä.



## 1.2. Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tarkoituksena on tuotteistaa VEO:n linjakäyttöratkaisuihin liittyviä vakio-malleja. Tarkemmin sanottuna toteutetaan OEM-vakiointiratkaisujen tuotteistaminen. OEM (original equipment manufacturer) lyhenteellä tarkoitetaan alkuperäistä laitevalmistajaa. Joskus OEM-valmistusta kutsutaan myös omamerkkivalmistukseksi. Nimitys tarkoittaa laitteiston tai tuotteen suunnittelevaa, valmistavaa, lopputarkastavaa ja pakkaavaa yritystä, jonka nimi tai kauppanimi on merkitty tuotteeseen. Tuotteessa voi olla mukana kolmannen osapuolen tuotteita, kuten ohjelmistoja tai sovelluksia. OEM-merkinnällä eri yritykset erotetaan toisistaan. Tämän työn yhteydessä nämä merkittävimmät ja OEM-merkinnällä erotettavat yritykset ovat Vacon, Siemens ja ABB.

Suomessa on olemassa muutamia yrityksiä, jotka toimittavat linjakäyttöratkaisuja. Vaasa Engineering Oy on yksi näistä yrityksistä. ABB on toinen Vaasassa toimiva yritys, joka toimittaa linjakäyttöratkaisuja. Tässä työssä selkeytetään VEO:n omia, jo valmiina olevia tuotteistuksia. Tavoitteena on saavuttaa sellaiset vakiointiratkaisut, jotka toimivat vähintään 90 % kaikista tapauksista. Tällä vakioinnilla halutaan saavuttaa kustannustehokkuutta, vähentää suunnittelu-aikaa ja komponenttien määrää. Vakioinnilla pyritään siis vähentämään ylimääräistä työtä. Tuotteistaminen on kokonaisuuksien hahmottamista, joka helpottaa tuotteen esittämistä asiakkaalle. Asiakkaalle voidaan esittää suoraan ja selkeästi kokonaisuudet, joita yrityksellä (VEO) on tarjota. Työ on rajattu paperikoneiden linjakäyttöratkaisujen tuotteistamiseen. (Sjöblom 2011)

Valmiiden vakiointiratkaisujen avulla projektimyyjien työ helpottuu. Tuotteiden esittelyn helpottumisen lisäksi myös hinnoittelu helpottuu. Hinnoittelu on helpompaa, koska jokainen tuotteistettu kokonaisuus on jo hinnoiteltu valmiiksi. Vakiointiratkaisut helpottavat ja nopeuttavat suunnittelutyötä, koska ei enää turhaan suunnitella jo olemassa olevaa ratkaisua uudelleen. Lisäksi uudet suunnittelijat on helpompi perehdyttää yrityksen vakioratkaisujen käyttöön, kun kaikki ratkaisut sisältävät kattavat dokumentit.

Tässä diplomityössä muodostetaan vakiopaketteja (Vacon, Siemens, ABB) eri asiakkaille ja kohderyhmille. Näitä paperiteollisuuden linjakäyttöjen asiakkaita ovat muun

muassa Voith ja Honeywell. Eri kohderyhmiä voivat olla paperiteollisuus ja terästeollisuus, mutta tämän työn yhteydessä keskitytään paperiteollisuuteen. Versioidut vakiopaketit tulevat sisältämään sisällysluettelot, vakioidut Eplan-piirikaaviot, vakioidut VEDA-mekaniikkakuvat, hinnoittelutyökalut ja myynti- ja markkinointimateriaalin. Sisällysluettelot sisältävät tiedon siitä, mistä kukin paketti koostuu (piirikaavio, mekaniikka-kuva, valmistusdokumentaatio). Vakioidut Eplan-piirikaaviot sisältävät muun muassa syöttökenttiä, syöttöyksiköitä, invertteriyksiköitä ja taajuusmuuttajia. Paketin sisältämänä hinnoittelutyökaluna käytetään Calctool:ia, johon on lisätty sovellus- ja mekaniikka-hinnoittelu. Myynti- ja markkinointimateriaaliin kuuluvat esityskalvot, referenssilistat, tyyppikaaviot ja mallikuvat.

## 2. PAPERITEOLLISUUDEN LINJAKÄYTTÖ

Tässä luvussa esitellään tämän diplomityön keskeisin asia eli paperikoneen linjakäyttö. Lisäksi tämä luku käsittelee paperikoneiden ratanopeuksia ja sähkökäyttöä (kehitys ja tekniikka). Paperikoneen linjakäyttö on useita sähkömoottoreita sisältävien käyttöryhmien yhteistoimintaa, jossa keskeistä on yhteinen ratanopeus. Kunkin käyttöryhmän sähkömoottorin tulee pyöriä samalla nopeudella, mikä mahdollistaa linjakäytön. Sähkömoottorien tulee pyöriä samalla ratanopeudella, kun ne pyörittävät paperikoneen teloja. Sähkökäyttöihin kuuluu syöttöyksiköitä ja inverttereitä, jotka ovat linjakäytön sähkömoottoreiden ohjaukseen tarvittavia laitteita.

Paperikoneen linjakäytöissä tarvitaan suuri määrä sähkömoottoreita (oikosulkumoottori, tahtimoottori eli synkronimoottori, tasavirtamoottori). Keskimääräinen tarvittava sähkömoottorien määrä linjakäytöissä on 3000 - 8000 kappaletta tehdasta kohden. Paperikoneessa sähkömoottoreita tarvitaan pumppujen, puhaltimien, jauhimien, seulojen ja hihnakuljettimien käyttämiseen. (Talponpoika 2004:26)

Paperiteollisuuden linjakäytöt sisältävät paljon ohjaustekniikkaa. Kun käyttöryhmän sähkömoottorien ohjaus on toteutettu riittävän hyvin, linjakäyttö on mahdollista.

### 2.1. Paperikoneiden ratanopeudet eli ajonopeudet

Paperikoneen ratanopeudella tarkoitetaan ajonopeutta ja sen yksikkö on (m/min), eli paperi liikkuu tietyn metrimäärän minuutissa. Uusimmissa paperikoneissa suurin ratanopeus voi olla jo yli 3000 m/min. Jatkuvasti kasvavat ratanopeudet vaativat yhä parempaa säätöä ja siihen kehiteltyjä laitteita. Muun muassa tehoelektroniikan kehittymisen mahdollistaa suuremmat ratanopeudet.

Ratanopeudella tarkoitetaan sitä nopeutta, jolla paperiraina liikkuu linjastossa. Jos linjastossa liikkuvassa paperirainassa on piste, ratanopeus on sama nopeus kuin millä tuo kiinteä piste liikkuu. Ratanopeutta ei saa sekoittaa paperitehtaan linjakäytöissä käytettä-

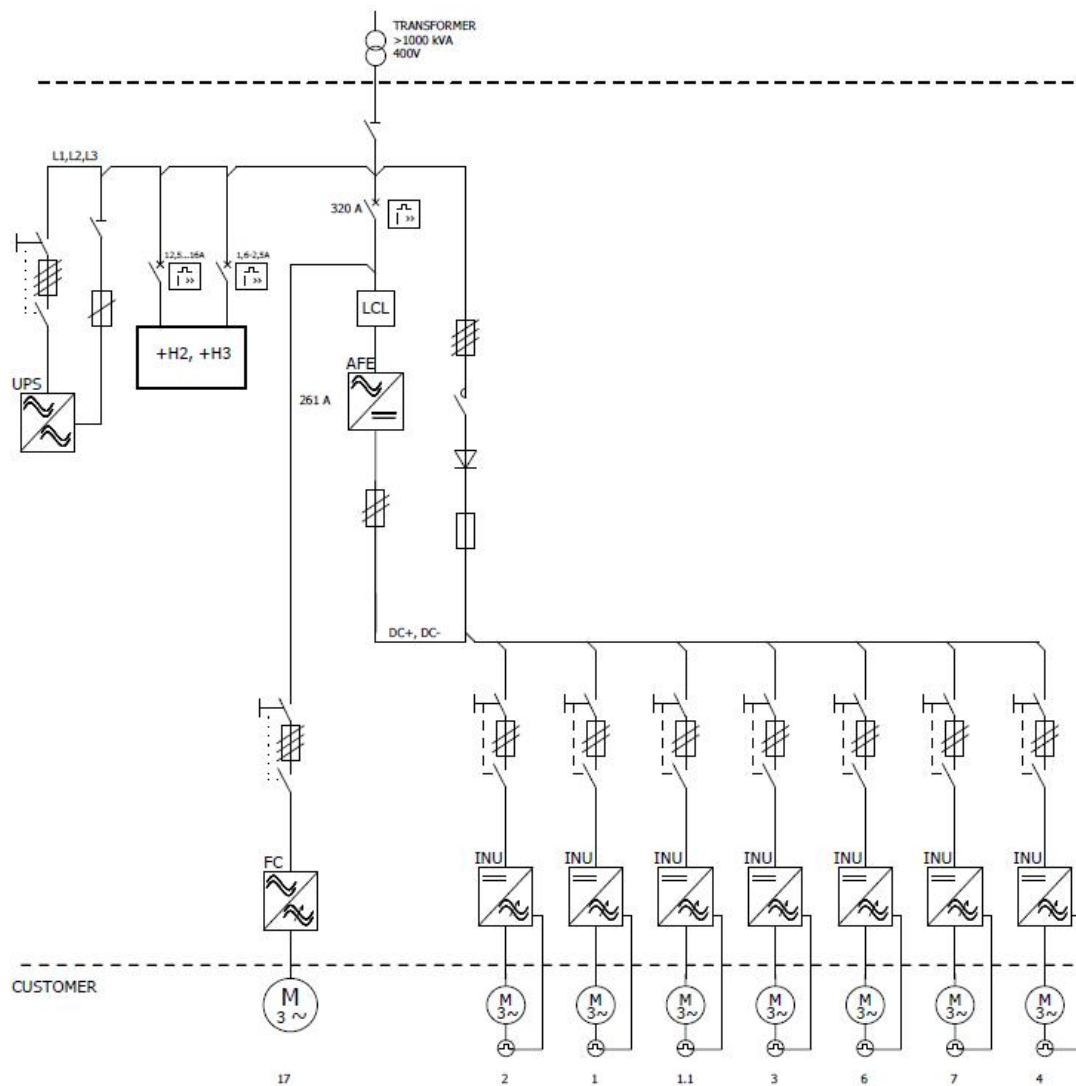
vien sähkömoottoreiden pyörimisnopeuksiin. Ratanopeus on paperikoneen telojen välissä liikkuvan paperin liikkumisnopeus. Tämä liikkumisnopeus voi vaihdella paperikoneen eri osien välillä.

Corensolla Porin tehtaalla maksimi ratanopeus on 300 m/min. Joidenkin tehtaiden tietyissä käyttöpisteissä ratanopeus voi olla jopa kymmenkertainen tähän lukuun verrattuna. Käyttöpisteiden (käyttöryhmien) tehontarvetta ja ratanopeutta verrataan usein keskenään. Tehontarpeen piikit eli suurimmat tehontarpeen alueet sijoittuvat paperikoneissa viiramoottorien ja pulpperien kohdille. Viiraosassa sähköä tarvitaan viiramoottorien ja sitä kautta telojen pyörittämiseen. Viiraosan tarkoitus on muodostaa paperia ja poistaa siitä vettä. Pulpperi sijaitsee tavallisesti paperikoneen alkupäässä ja sitä käytetään kuiduttamaan erilaisia massoja. Kuiduttamisella tarkoitetaan puun kuitujen erottamista toisistaan joko mekaanisesti tai kemiallisesti.

## 2.2. Paperikoneen linjakäytön periaate

Paperikoneen linjakäytössä on välttämätöntä, että linjastossa toimivat moottorit pyörivät samalla ratanopeudella. Rainan muodostaminen ja paperin liikuttaminen linjastossa ei ole mahdollista mikäli yksi tai useampi moottori pyörii pienemmällä ratanopeudella kuin muut.

Käyttöryhmän sähkömoottoreita ohjataan vaihtosuuntaajilla eli inverttereillä (INU), kuten kuvan 1 linjakäyttöratkaisussa (Voith, Tashkent) on esitetty. Kuvassa 1 kutakin moottoria ohjaa yksi invertteri, mutta yksi invertteri voi ohjata myös kahta moottoria. Linjakäyttöön voi olla kytkettynä useita invertterien ja moottorien yhdistelmiä.

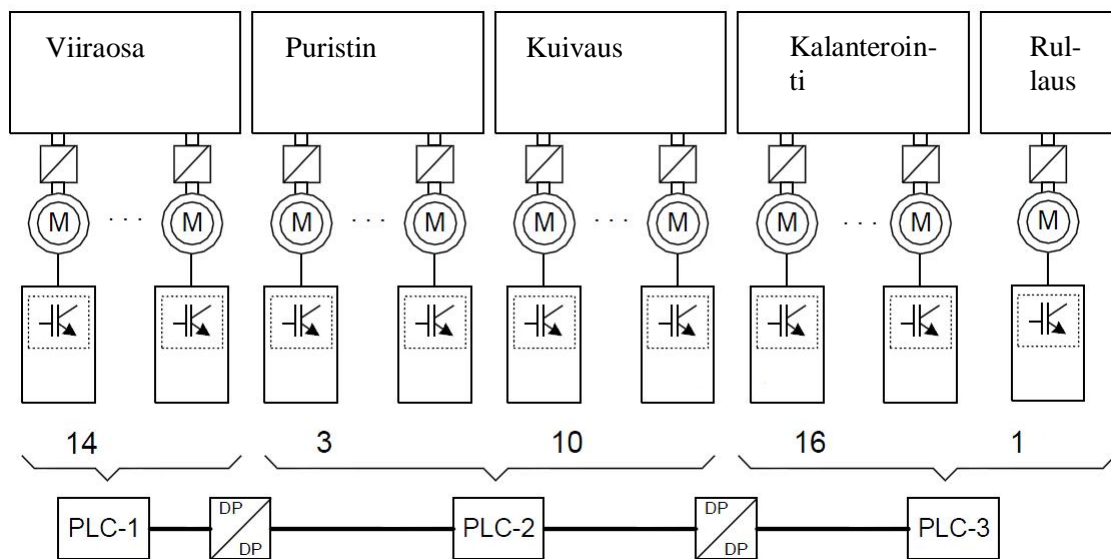


**Kuva 1.** Paperikoneen linjakäytön piirikaavio (Vacon, Voith) (VEO 2009).

Linjakäyttöä ohjaa käyttöryhmälle yhteinen ohjausyksikkö, jonka avulla moottorit saadaan pyörimään haluttua nopeutta. Linjakäytön ohjauksen digitaalinen säätäjä on liitetty jokaiseen käyttöryhmään välipiirin kautta. Välipiiri on yhdistetty syöttöyksikön avulla sähköverkkoon. Välipiirin ja valtakunnan verkon välissä on joko kaksisuuntainen (AFE, Active Front End) tai vaihtoehtoisesti yksisuuntainen (NFE, Non-regenerative front-end). Jarrutustilanteessa moottorien jarrutusenergia voidaan siirtää takaisin valtakunnanverkkoon AFE:n avulla. Energia saadaan siis talteen. Yksisuuntainen NFE ei mahdollista energian talteenottoa.

Jos yksi tai useampi käyttöryhmien sähkömoottoreista jarruttaa, teho voi siirtyä välipiiriin ja sieltä verkkoon. Voidaan puhua jarrutustehon verkkoonsyötöstä. Syöttöyksikkö sisältää ohjaustekniikan, joka on erittäin oleellinen osa linjakäyttöä. Tekniikka mahdollistaa sen, että linjan moottorit saadaan pyörimään tietyllä nopeudella. Erityisesti puhutaan linjan ratanopeudesta. Paperia liikuttavien telojen halkaisijoista riippuu se, millä nopeudella kunkin telan tulee pyöriä. Pienemmän halkaisijan telojen tulee pyöriä suuremmalla nopeudella kuin suurempien telojen. Tällä tavalla saavutetaan sama ratanopeus koko käyttöryhmälle.

Kuvassa 2 on esitetty paperikoneen käyttöryhmät: viiraosa, puristinosa, kuivausosa, kalanterointiosa ja rullausosa. Moottorit pyörittävät käyttöryhmien toimilaitteita ja moottoreita ohjataan taajuusmuuttajilla. Kuvan 2 esimerkissä kutakin paperikoneen linjakäytön osaa ohjaa tietty määrä (14, 3, 10, 16 ja 1) taajuusmuuttajakäyttöä. Taajuusmuuttajat voidaan varustaa Profibus-moduuleilla, jotka mahdollistavat taajuusmuuttajakäyttöjen yhdistämisen. Profibus-moduulien käytön avulla vähennetään kaapelointikustannuksia ja liityntöjen määrää.



**Kuva 2.** Kokonaiskuva, jossa on esitetty paperikoneen linjakäytön käyttöryhmät, moottorit, taajuusmuuttajat ja ohjaustekniikkaa. (Jeftenić, Bebić, Ristić & Štatkić 2010)

Linjakäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa on jokin syy pyörittää moottoreita yhdessä. Linjakäyttö on ohjaustekninen asia, jolla korvataan historiallinen valta-akseli. Linjakäytön avulla saavutetaan moottoreille tarkka säätö, säästetään energiaa ja kuluja mekaanisia osia. Ainakin nämä asiat ovat sen etuja verrattaessa sitä perinteiseen valta-akseli menetelmään.

### 2.3. Paperikoneen sähkökäyttöjen kehitys

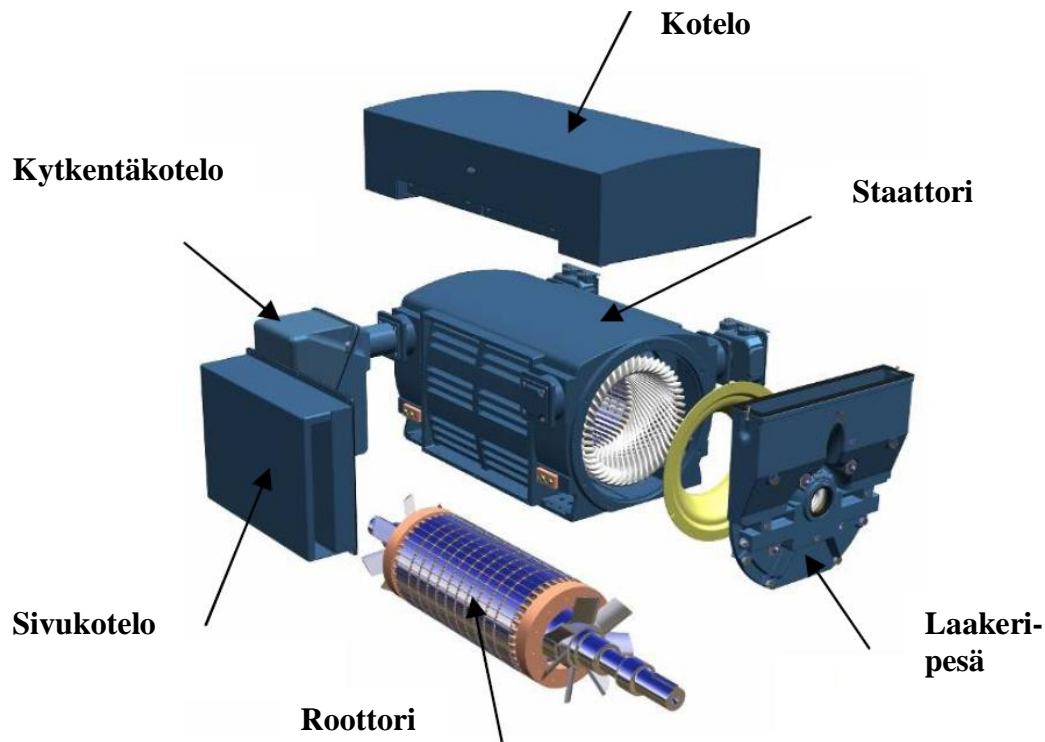
Paperikoneen käyttöjärjestelmissä vaaditaan paperikoneen käyttönopeuden hallinnan lisäksi käyttöryhmien nopeuserojen tarkkaa hallintaa (linjakäyttö). Kunkin käyttöryhmän sähkömoottorien tulee pyöriä keskenään samalla ratanopeudella. Paperin valmistuksessa nopeus on tärkeä tekijä ja sen säätäminen on hyvin monimutkaista. Nopeusketju (speed chain) ja kuorman jakelu (load distribution) ovat keskeisiä käsitteitä, kun puhutaan paperikoneen ohjauksesta ja säädöstä. Paperikoneessa jokaisen moottorin täytyy säilyttää tietty suhde toisiinsa nähden, kun ajatellaan niiden pyörimisnopeutta. Säädön avulla saavutettava moottorien yhteistoiminta vaikuttaa paperin laatuun ja määrään. (Zhang & Xia 2010)

Paperikoneet saivat aikanaan käyttövoimansa vesiturbiinista, sittemmin höyryturbiinista tai sähkömoottorista. Voima siirrettiin koneelle valta-akselilla, josta se jaettiin eri käyttöryhmille hihnakäyttöillä. Käytössä oli USA:ssa kehitetty mekaaninen menetelmä, jossa käytettiin voimansiirtoon (valta-akselilta käyttöryhmille) säädettäviä differentiaalivaihteistoja. 1950-luvulla Valmet kehitti oman differentiaalikäyttönsä.

Paperikoneissa käytettyjen käyttöjärjestelmien hankaluutena oli yhden käyttöryhmän pysäyttäminen siten, että muut ryhmät ovat kuitenkin käytössä. Differentiaalikäytössä tarvitaan kytkein vaihteiston ja ryhmän välille. Kytkemisen täytyy tapahtua joustavasti, koska paperikoneen kiihdytyksen aikana liian nopeasti tapahtuva voiman kytkentä nostaa vääntömomentin liian suureksi ja rikkoo järjestelmän heikoimman komponentin. Perinteinen kitkakytkin ei enää toiminut, koska paperikoneiden koko ja sitä myöden vaikuttavat voimat olivat kasvaneet. Kitkakytkimen tilalle kehitettiin induktio-

kitkakytkin, jossa pääosa kiihdytyksestä eli noin 95 % tapahtui induktiokytkimellä. Vasta kiihdytyksen loppuvaiheessa kitkakytkin kiinnitettiin voimansiirtoon. Myös paperikoneen ryömintäajo oli mahdollista induktio-kitkakytkimen käyttöönoton jälkeen. Ryömintäajolla tarkoitetaan tässä hidasta liikenopeutta suurella pyörimisnopeudella. (Palsanen 2009)

Jo 1930-luvulla oli kehitetty käyttöjärjestelmä, jossa jokaisella käyttöryhmällä oli oma nopeussäädetty sähkömoottorinsa. Tällainen moottorikäyttö saavutti suurempaa suosiota vasta sitten, kun tyristoriohjaus otettiin käyttöön 1960-luvulla. Näillä tasavirtamoottoreihin perustuvilla tyristorikäyttöillä oli hyvä maine laatunsa suhteen. Tasavirtakoneiden haittoja olivat monimutkainen rakenne, suuri koko ja suuret valmistus- ja huoltokustannukset. Oikosulkumoottori on tasavirtakonetta parempi ratkaisu. Se on helppokäyttöinen, siinä on yksinkertainen ja kestävä rakenne ja se vaatii vain vähän huoltoa. Oikosulkumoottori toimii vain vaihtovirralla. Vaihtovirta kytketään staattoriin siten, että roottorin ympärille muodostuu pyörivä magneettikenttä. Kuvassa 3 on 3-vaiheinen induktio- eli epätahtimoottori.

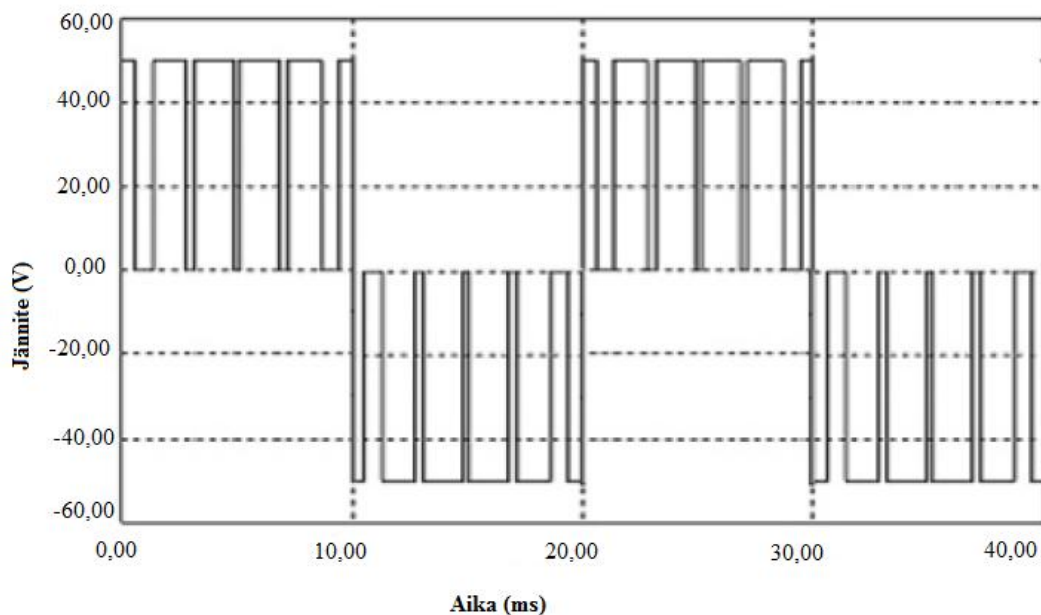


**Kuva 3.** Induktiomoottoriin kuuluvat komponentit. (Mistry, Finley, Kreitzer & Hashish 2010)



Ensimmäinen koe paperikoneiden sähkökäytöissä vaihtovirtakäytön prototyypillä tehtiin jo vuonna 1968. Koe kuitenkin epäonnistui, mutta jo muutaman vuoden päästä oli nähtävissä, että vaihtovirtamootorit tulisivat syrjäyttämään tasavirtamootorit. Eri valmistajat esittelivät tuolloin vaihtoehtoisia moottorien ohjausjärjestelmiä. (Palsanen 2009) PWM (pulse width modulation) alkoi kehittyä 1970-luvun alussa.

Kuvassa 4 on havainnollistettu PWM-invertterin ulostulojännitteen aaltomuotoa. PWM-ohjaus tapahtuu siten, että tehopuolijohteet kytkevät tasajännitettä päälle ja pois hyvin suurella nopeudella. Tällä tavalla saadaan aikaan lähes sinimuotoista jännitettä.



**Kuva 4.** PWM-invertterin tuottama jännite (V) ajan (ms) funktiona. (Ray, Chatterjee & Goswami 2010)

Siirryttäessä tasavirtakäytöistä vaihtovirtakäyttöihin ei muodostunut selvää teknistä käännekohtaa, vaan muutos tapahtui vähittäin. Ensimmäinen vaihtovirtakäyttö paperikoneeseen asennettiin vuonna 1981. Käytön ohjaus perustui osittain sekä analogiseen että digitaaliseen ohjausjärjestelmään. Vaihtovirtakäyttöihin siirtyminen mahdollisti samalla mekaanisten vaihteistojen yksinkertaistamisen. (Palsanen 2009)

Moottoreiden ohjausjärjestelmien kehitys kulki analogisista digitaalsiin. Ensimmäinen mikroprosessorilla ohjattu tasavirtamoottorin tyristorisuuntaaja suunniteltiin vuonna 1974. (Palsanen 2009)

1980-luvun alussa Japanissa kehitettiin Gate Turn-Off-tekniikka (GTO) sellaiseen pisteeseen, että se mahdollisti GTO:n käytön suurten taajuusmuuttajien tehokomponenttina. (Palsanen 2009) GTO-tyristori on IGBT:n tapaan täysin hilan kautta ohjattu komponentti. Sen vaatima ohjausteho on kuitenkin huomattavasti suurempi ja kytkentätaajuus huomattavasti pienempi (noin 1 kHz) kuin IGBT:llä. GTO:lla kytkettävät tehot voivat sen sijaan nousta useisiin MW:hin. (Korpinen 1998) 1980-luvun lopulla prosessoriteknikan myötä avautui mahdollisuus kehittää Direct Torque Control-järjestelmä (DTC), joka vaikutti merkittävästi vaihtovirtakäyttöjen kehitykseen. (Palsanen 2009)

Suora momentinsäätö (DTC) on uusi vaihtovirtakäyttötekniikka, jolla voidaan korvata perinteiset takaisinkytketyt ja takaisinkytkemättömät PWM-käytöt. Suorassa momentinsäädössä moottorin sähkömagneettinen tila vaikuttaa nopeuden ja momentin säätöön. Vaikutus on samankaltainen kuin tasavirtamoottoreissa. Tämän suoran momentinsäädön edeltäjä on PWM-käyttö. Perinteisessä PWM-käytössä säädetään taajuutta ja jännitettä, jotka syötetään moottorille modulaattorin (pulssinleveysmodulaatio, PWM) ja puolijohdekytkinten kautta.

DTC:n avulla voidaan vaikuttaa moottorin momenttiin ja magneettivuohon. Tämän takia taajuuden ja jännitteen säätöön ei tarvita modulaattoria kuten PWM-käytöissä. Koska modulaattoria ei tarvita, säätövaiheiden määrä vähenee ja käytön momenttivaste nopeutuu merkittävästi.

DTC mahdollistaa teollisuudessa parempilaatuisten tuotteiden valmistuksen. Tuotteiden valmistusta voidaan osittain parantaa, koska nopeussäätö on tarkempi ja momentinsäätö on nopeampi. Seisokkiajat vähentyvät DTC:n käytön myötä. DTC-käyttö on yksinkertainen, se ei laukea tarpeettomasti, ei sisällä kalliita takaisinkytkentälaitteita eikä ole herkkä häiriöille (yliaallot, radiotaajuiset häiriöt, RFI). Yksi teollisuuden tarpeista on

laitteiden vähentäminen siten, että yksi yleiskäyttö sopii kaikkiin sovelluksiin, niin vaihtovirta-, tasavirta- ja servolaitteisiin. (ABB Industry Oy 2001)

Sana “servo” on peräisin latinankielisestä sanasta “servus”, joka tarkoittaa orjaa. Liikkeenohjausjärjestelmässä (motion control system) servomoottori on toimilaitte (actor), joka suorittaa käyttäjän ja prosessihallinnan antamia tehtäviä. Servokäyttö on yleisnimitys automaattisille liikkeenohjausjärjestelmille. Siinä kuorman sijaintia kontrolloidaan säätämällä toimilaitteen liikettä (pyörimisliike, lineaarinen liike). (Puranen 2006:13)

Isäntä- orja asetelmalla tarkoitetaan paperikoneiden linjakäyttöryhmissä sitä, että yhdellä telojä pyörittävistä moottoreista on suurempi vääntömomentti kuin toisilla. Suurimman vääntömomentin omaava tela siis pyörittää muita teloja mukanaan. Isännän kohdalla voidaan puhua esimerkiksi 80 %:n vääntömomenttisuudesta. Linjakäyttöryhmän kokonaisvääntömomentista 80 % voi olla isännän osuutena. Loput vääntömomentista jakaantuvat ’mukana pyörivien’ telojen kesken. Orjan asemassa voi olla sellainen linjakäyttöryhmän tela, joka sijaitsee käyttöryhmässä ylhäällä, ja jonka kautta paperi käy kiertämässä. Tällaisella paperin kierrättämisellä pyritään siihen, että käyttöryhmän sisällä kiertävän paperin kokonaispituus on suurempi.

Servomoottorit eroavat muista moottoreista korkean dynaamisen suorituskäykensä ansiosta. Servomoottorien tehoalueet vaihtelevat noin yhdestä kW:sta useisiin satoihin kilowatteihin. Pienitehoisia servomoottoreita käytetään muun muassa autoissa, mekaanisissa työkaluissa ja erilaisissa venttiileissä. Paperikoneet, hissit ja nostimet ovat suuritehoisten servomoottoreiden käyttöaluetta. Useimmiten näiden moottorityyppien teho on alle 100 kW maksimitehon ollessa vain muutamia kymmeniä kilowatteja. (Puranen 2006:13)

DTC-tekniikka tuo mukanaan monia etuja teollisuuden käyttöihin, joista merkittävin on hyvä dynaaminen suoritusarvo (nopea dynaaminen vaste, dynaaminen nopeustarkkuus). Tekniikassa ei tarvita virran säätöä, PWM:ää, eikä antureita (takometri). (Lascu, Boldea & Blaabjerg). DTC-käytön *momenttivaste* on jopa kymmenen kertaa nopeampi, kuin

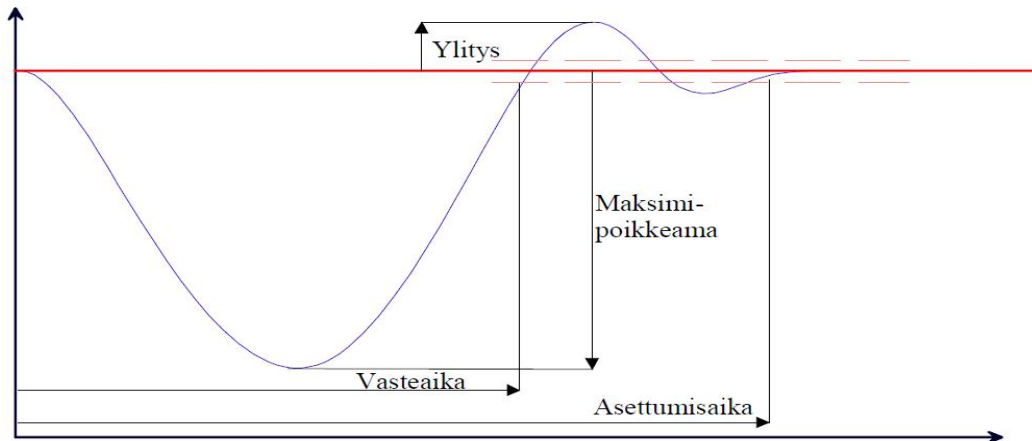
anturilla varustetuissa vuovektorisäädetyissä- tai tasavirtakäytöissä. Nopeasta *momentti-vasteesta* aiheutuva käytännön hyöty on käytön tarkkuus. Se pienentää nopeuden muutoksia kuorman muuttuessa, mikä parantaa prosessin hallintaa ja lisää tuotteiden laadun yhdenmukaisuutta.

Perinteisellä DTC-tekniikalla on ollut myös useita haittapuolia. Se on aiheuttanut rippeitä (ripple) moottorin magneettivuohon, vääntömomenttiin ja virtaan. Lisäksi DTC:stä on aiheutunut melua sekä magneettivuon säätö on ollut vaikeaa pienillä pyörimisnopeuksilla. Ongelmana on ollut myös vaihteleva ja alhainen kytkentätaajuus (pienempi kuin näytteenottotaajuus). (Lascu, Boldea & Blaabjerg 2004)

*Momentin lineaarisuudella* tarkoitetaan taajuusmuuttajan momenttisäädön kykyä tuottaa momenttiohjetta vastaava vääntömomentti eri pyörimisnopeuksilla. Moottorin vääntömomentin on vastattava momenttireferenssiä mahdollisimman hyvin huolimatta moottorin eri pyörimisnopeuksista. Momentin lineaarisuus on tärkeää paperikoneissa käytettävissä pituusleikkureissa, joissa tarkka ja jatkuva kelaus on tärkeää. (ABB Industry Oy 2001)

Dynaaminen nopeustarkkuus tarkoittaa nopeuden muutoksen aikaintegraalia nimellisellä (100 %) momenttinopeudella. Takaisinkytkemättömässä DTC:ssä dynaaminen nopeustarkkuus on 0,3 %s (prosenttisekunti). Tämä arvo vaihtelee säätimen vahvistuksen säädön mukaan, jota voidaan muuttaa prosessin vaatimusten mukaisesti. Muissa vaihtovirtakäytöissä, joissa ei ole käytetty takaisinkytkentää, dynaaminen nopeustarkkuus on kymmenen kertaa pienempi. Tämä tarkoittaa käytännössä arvoa 3 %s. Dynaaminen nopeustarkkuus tarkoittaa siis sitä, että äkillisen kuorman muutoksen jälkeen moottori palautuu vakaaseen tilaan hyvin nopeasti. Kuorman muutos vaikuttaa siis moottorin pyörimisnopeuteen. Kuvassa 5 on esitetty dynaamiseen nopeustarkkuuteen liittyvät tekijät. (ABB Industry Oy 2001)

Maksimipoikkeaman arvon (%) ja vasteajan arvon (s) kertominen keskenään ja tämän arvon jakaminen kahdella antaa vastaukseksi kokonaispinta-alan. Tämä kokonaispinta-ala on kuorman muutoksen aiheuttama poikkeama-alue, jonka yksikkö on prosenttisekunti. Kuvassa 5 tämä kokonaispinta-ala (poikkeama-alue) koostuu kolmesta erillisestä pinta-alasta. Asettumisaajan jälkeen poikkeavia pinta-aloja ei enää esiinny.



**Kuva 5.** Dynaamisen nopeustarkkuuden määrittäminen. (IEC 2002)

Taulukossa 1 on esitetty lyhyesti hyvästä dynaamisesta nopeustarkkuudesta aiheutuvia etuja.

**Taulukko 1.** Takaisinkytkemättömän DTC:n dynaaminen suorituskyky ja sen edut. (ABB Industry Oy 2001)

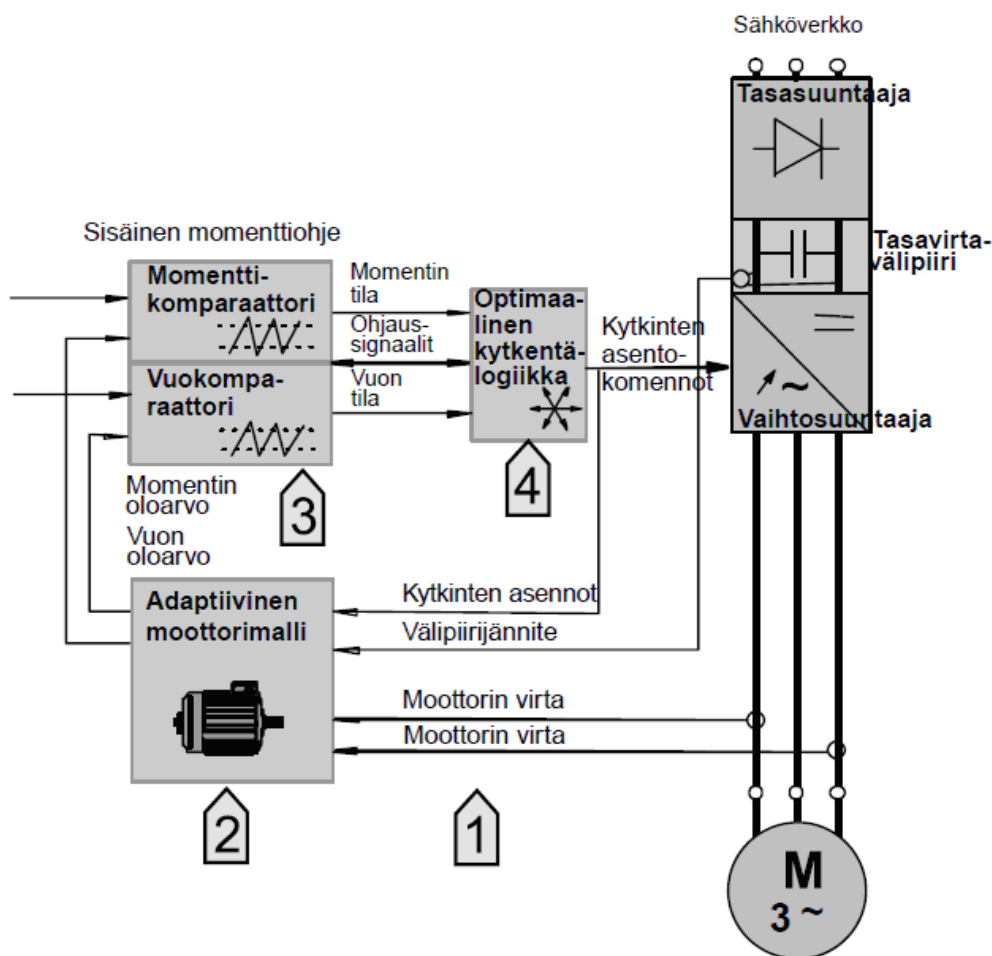
Ominaisuudet	Suorituskyky & edut
Tarkka moottorin nopeuden säätö ilman takometriä	Nopeuden säädön tarkkuus > 0,5%, edullinen hankkia, luotettava, hyvä prosessin säätö
Tarkka momentinsäätö ilman takometriä	Momentin vasteaika alle 5 ms, vähemmän mekaanisia vikoja koneissa, hyvä käyttöaste
Täysi momentti nollanopeudella takometrin/anturin kanssa tai ilman niitä	Mekaanista jarrua ei tarvita, tasainen siirtyminen käytöstä jarrutukseen, edullinen hankintahinta, hyvä kuormasäätö
Täysi nopeuden ja asennon säädettävyyys pysähdyksiin asti anturin avulla	Vastaava suorituskyky kuin servokäyttöissä, edullinen, asennon säätö ja hyvä staattinen tarkkuus

Taulukossa 2 on lueteltu DTC-tekniikkaan liittyvät ominaisuudet, suorituskyky ja edut.

**Taulukko 2.** DTC-tekniikan käyttöominaisuudet ja niiden avulla saavutettavia etuja verrattaessa sitä PWM-vuovektorikäyttöihin. (ABB Industry Oy 2001)

Ominaisuudet	Suorituskyky & edut
Välipiirijännitteen nopea säätö	Verkkokatkossäätö (pitää vaihtosuuntaajan toiminnassa lyhyissä verkkokatkoksissa (0,5s)), käyttö ei laukea, hyvä käyttöaste
Automaattinen käynnistys, suora uudelleen käynnistys	Viiveetön uudelleen käynnistys, pyörivä moottori voidaan käynnistää, vaikka vuo ei olisi vähentynyt
Vuojarrutus	Hallittu jarrutus, parempi prosessin hallinta, jarrukatkojen- ja vastuksien tarve vähenee
Magneettivuon optimointi	Hiljainen käyntiääni, moottorin tehohäviöt vähentyvät, hallittu moottorin käyttö
ID-ajo (taajuusmuuttaja syöttää moottoriin jännitettä ja laskee sen perusteella tarvittavat arvot)	Käytön parempi suorituskyky, parametriasetuksia ei tarvita, nopea ja helppo käyttöönotto

DTC koostuu kahdesta pääosasta, jotka ovat nopeudensäätö- ja momentinsäätöpiiri. Kuvassa 6 on esitetty momentinsäätöpiiri. Momentinsäätöpiirissä mitataan moottorivirtaa kahdesta vaiheesta, välipiirin jännitettä ja kytkinten asentoja (1). Piiri sisältää adaptiivisen moottorimallin (2), jossa moottorilta, kytkimistä ja välipiiristä saadut arvot käsitellään. Momenttikomparaattorissa ja vuokomparaattorissa (3) tuotetaan moottorin virtakytkimien käyttämiseen tarvittavat tiedot. Optimaalisessa kytkentälogiikassa (4) määritetään vaihtosuuntaajan puolijohteiden kytkentäjärjestys.



**Kuva 6.** Momentinsäätöpiiri, joka on toinen DTC:n pääosista. (ABB Industry Oy 2001)

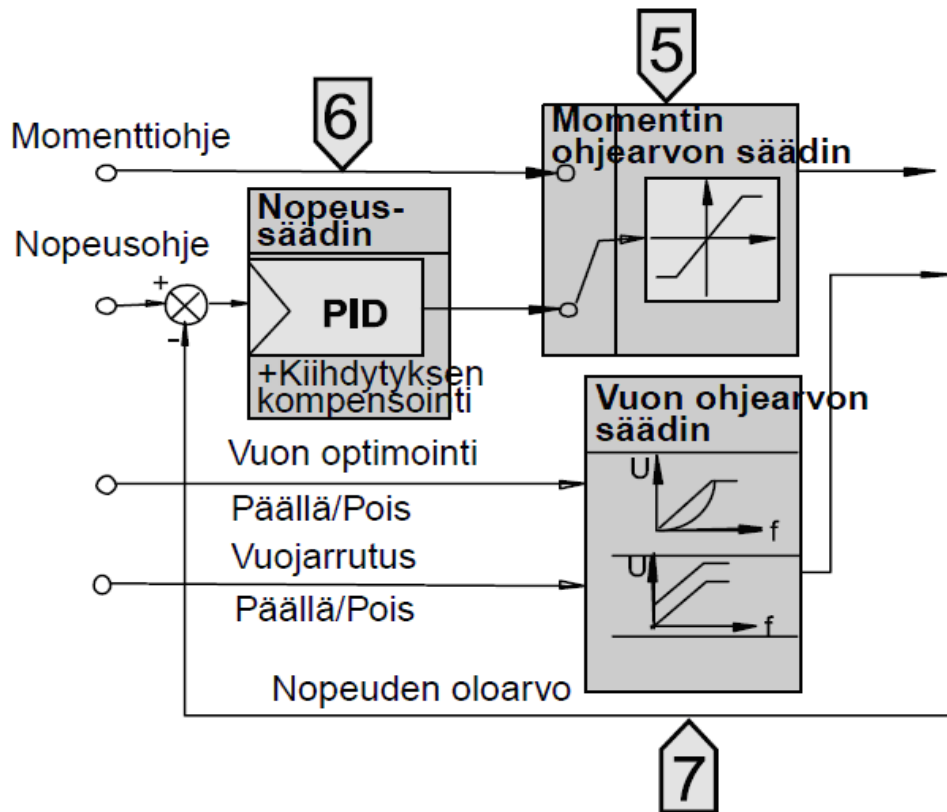
*Adaptiivisen moottorimallin* tarkkuuden ansiosta moottorin tiedot voidaan laskea. Ennen kuin DTC:n käyttö aloitetaan, moottorin tiedot syötetään adaptiiviseen moottorimalliin. Nämä tiedot saadaan käyttöön ID-ajon aikana. Tässä ID-ajossa taajuusmuuttaja syöttää moottoriin jännitettä ja laskee sen perusteella tarvittavat arvot. Näitä arvoja ovat muun muassa staattorin vastus, keskinäisinduktanssi, kyllästymisvakio ja moottorin hitausmomentti. Moottorimallin parametrit voidaan tunnistaa ilman moottorin akselin pyörittämistä. ID-ajossa moottorin akselia pyöritetään muutaman sekunnin ajan, jolloin moottorimalli virittyy erittäin tarkasti. Moottorimalli on tärkeä tekijä, kun ajatellaan DTC:n suorituskykyä alhaisilla nopeuksilla. Moottorimallista saatavien ohjaussignaalien avulla saadaan tieto sähkömoottorin momentista (todellinen arvo), staattorin vuosta (todellinen arvo) ja akselin nopeudesta.

*Komparaattorit* ovat vääntömomentin ja vuon vertailupiirejä, joihin matemaattisen mallin laskemat momentin ja vuon oloarvot syötetään. Niissä oloarvoja verrataan 25 mikrosekunnin välein momentin ja vuon ohjearvoihin. Momentille ja vuolle lasketaan tilasignaalit, jotka syötetään komparaattoria seuraavaan optimaaliseen kytkentälogiikkaan. Momentin ja vuon tilasignaalit lasketaan kaksitasoisen hystereesinsäätömenetelmän avulla. Elektroniikassa hystereesi vähentää turhia päälle ja pois-kytkentöjä sekä vähentää erilaisten häiriöiden haittavaikutuksia. Termostaatti ja komparaattori ovat yleisimmät hystereesiä hyödyntävät laitteet. (Bhattacharya 2011:116)

Digitaalisignaali prosessori (DSP) ja ASIC-piiri ovat *optimaalisen kytkentälogiikan* keskeiset osat. Optimaalinen kytkentälogiikka on osa momentinsäätöpiiriä, joka on toinen DTC:n pääosista. DSP ja ASIC-piiri määrittävät vaihtosuuntaajan puolijohteiden kytkentäjärjestyksen. DSP toimii 40 MHz:n taajuudella. Kaikki säätösignaalit johdetaan optisten kuitujen avulla, jotta tiedonsiirto on mahdollisimman nopeaa. Tietojen käsittelyn nopeus on niin suuri, että vaihtosuuntaajan puolijohdekytkimille voidaan johtaa säätösignaali 25 mikrosekunnin välein. Tällä tavalla saadaan moottorille tarkka momentti ja voidaan ylläpitää sitä. Oikea kytkentäjärjestys määritellään uudestaan jokaisella kierroksella ja ennalta määrättyä järjestystä ei ole. DTC on säätöjärjestelmä, jossa jokainen kytkentä on tarpeellinen, toisin kuin perinteisessä PWM-tekniikassa missä 30 % kytkennöistä on tarpeettomia. DTC:n tärkein ominaisuus on kytkentöjen nopeus, jonka vuoksi moottorin tärkeimmät ominaisuudet päivittyvät 40000 kertaa sekunnissa. Suuri kytkentänopeus johtaa siihen, että akselille saadaan erittäin nopea vaste. (ABB Industry Oy 2001)

Kuvassa 7 on nopeudensäätöpiiri, eli toinen DTC:n pääosista. Piiri koostuu momentin ohjearvon säätimestä (5), nopeussäätimestä (6) ja vuon ohjearvon säätimestä (7).





**Kuva 7.** Nopeudensäätiöpiiri, joka kuuluu toisena pääosana suoraan momentinsäätöön. (ABB Industry Oy 2001)

*Momentin ohjearvon säätimessä* nopeussäädön lähtöarvoa rajoittavat momenttirajat ja välipiirin tasajännite. Joissain tapauksissa käytetään ulkoista momenttisygnalia. Momentin ohjearvon säätimessä on myös erillinen nopeudensäätö (niitä tapauksia varten, joissa käytetään ulkoista momenttisygnalia). Tästä yksiköstä sisäinen momenttiohje johdetaan momentinsäätöpiirille momenttikomparaattoriin.

*Nopeussäätimeen* kuuluvat PID-säädin ja kiihdytyskompensaattori. Nopeussäätimessä verrataan ulkoista nopeusohjetta moottorimallista saatavaan nopeuteen. Moottorimallin parametrit ovat virittyneet ID-ajon jälkeen erittäin tarkoin. Nämä tarkat parametrit vaikuttavat suuresti nopeussäädön lopputulokseen. Ulkoisen nopeusohjeen ja moottorimallista saatavan nopeuden eroarvo johdetaan sekä PID-säätimeen että kiihdytyskompensaattoriin. Lähtevä signaali on molempien säätöpiirien lähtöjen summa. PID-säädin (proportional-integral-derivative-säädin) on yksi säätötekniikan perussäätimistä. PID-säätimen siirtofunktio on:

$$G_C(s) = K_D s + K_P + \frac{K_I}{s}, \quad (1)$$

missä

$K_D$  on derivointivahvistus

$K_P$  on vahvistus ja

$K_I$  on integrointivahvistus.

Vahvistusosalla (P) tarkoitetaan sitä, että säätimen sisäänmeno (ohjaus) on suoraan verrannollinen säätimen ulostuloon (vahvistus, proportion). Sisäänmeno on yleensä erosuure, eli asetusarvon ja mitta-arvon erotus (säädetävän suureen poikkeama halutusta arvosta). Vahvistus ( $K_P$ ) kuvaa sitä, kuinka suuri säätötoimenpide on kyseessä. Vahvistus ei pysty kompensoimaan erosuuretta kokonaan. Integroivan osan (I) ulostulo on suhteessa erosuureen suuruuteen ja sen kestoaikaan. Integroivan termin vahvistusta kuvaa termi ( $K_I$ ). Derivoiva osa (D) tarkastelee erosuureen muutosnopeutta ja sen vahvistus on derivointivahvistus ( $K_D$ ). Derivoiva osa on niin sanottu ennakoiva säätö, koska se pyrkii kompensoimaan poikkeaman jo silloin kun se on muodostumassa. (Engelberg 2005:181)

DTC:n nopeudensäätöpiirissä staattorin vuon todellinen arvo voidaan syöttää *vuon ohjearvon säätimestä* vuokomparaattoriyksikköön. Todellista arvoa voidaan säätää ja muokata, jolloin voidaan toteuttaa monia vaihtosuuntaajan toimintoja, kuten vuon optimointi ja vuojaarrutus. Vuon optimointi vähentää moottorin tehohäviöitä ja pienentää moottorin käyntiääntä. (ABB Industry Oy 2001)

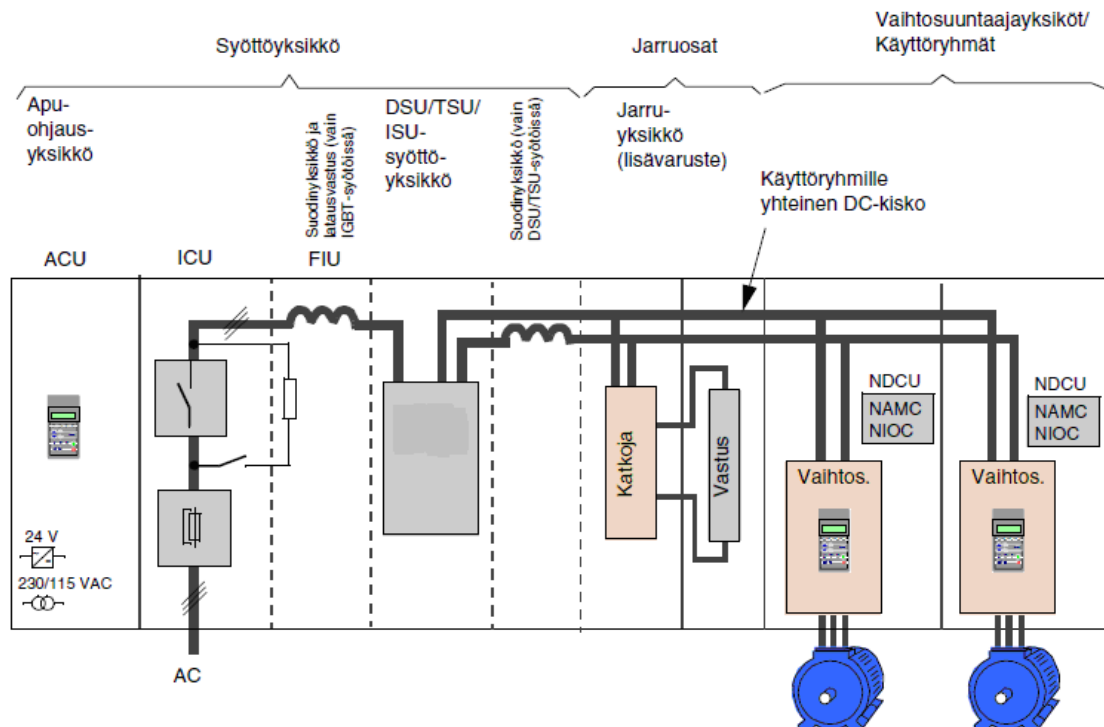
## 2.4. Sähkökäyttöjen tekniikka

Sähkökäytöissä käyttösovellukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään rakenteensa perusteella. Nämä ryhmät ovat erilliskäyttö, ryhmäkäyttö ja linjakäyttö. *Erilliskäytöllä* tarkoitetaan taajuusmuuttajakäyttöä, jossa on erillinen syöttö, joka syöttää yhtä tai useampaa

moottoria invertterin kautta. Erilliskäytöstä voidaan puhua esimerkiksi pumppujen ja puhaltimien kohdalla, joissa on erillinen syöttö. Erilliskäyttö on taajuusmuuttajasovel-luksista yleisin. *Ryhmäkäyttö* on usean erilliskäytön yhdistelmä, jossa on yhteinen kon-taktoriyksikkö, verkkosuuntaaja ja energiavarasto. *Linjakäytössä* (paperikone) kullakin käyttöryhmällä on oma invertteri, mutta syöttöyksikkö on yhteinen koko linjalle. Koko linjakäytön ohjaus tapahtuu yhteisen digitaalisen säätäjän avulla, joka on yhdistetty no-pealla optisella linkillä käyttöryhmiin.

Verkkoon jarruttavaa syöttöyksikköä tarvitaan silloin, kun moottori (epätahtimoottori) toimii väliaikaisesti generaattorina, eli se tuottaa energiaa (moottori jarruttaa). Tämä moottorin tuottama energia nostaa taajuusmuuttajan välipiirin jännitettä. Tämä välipiirin jännitettä nostava energia saadaan poistettua syöttämällä se takaisin verkkoon. Moottori saattaa toimia generaattorina myös silloin, kun sen pyörimisnopeutta halutaan nopeasti hidastaa taajuusmuuttajan avulla.

Kuvassa 8 on esitetty ACS 600 Multidrive-taajuusmuuttajan (AC käyttö) tärkeimmät osat. ACS 600 Multidrive tarkoittaa ACS 600-sarjan linjakäyttöä. Syöttöyksikössä on joko diodi-, tyristori- tai IGBT (insulated gate bipolar transistor) -syöttösilta. Suodinyk-sikkö on vain IGBT syöttöyksiköissä. Kuvaan 8 on merkitty kaksi vaihtosuuntaajayk-sikköä, mutta niiden määrä voi vaihdella. Kahdelle käyttöryhmälle on omat invertterit. Jarruysikkö on lisävarusteena. Syöttöyksikköön kuuluvat ACU (auxiliary control unit), ICU (incoming unit cabinet), FIU (filter incoming unit) ja DSU/TSU/ISU-syöttöyksikkö.



**Kuva 8.** ACS 600 Multidrive-taajuusmuuttajan tärkeimmät osat. (ABB Oy 2001)

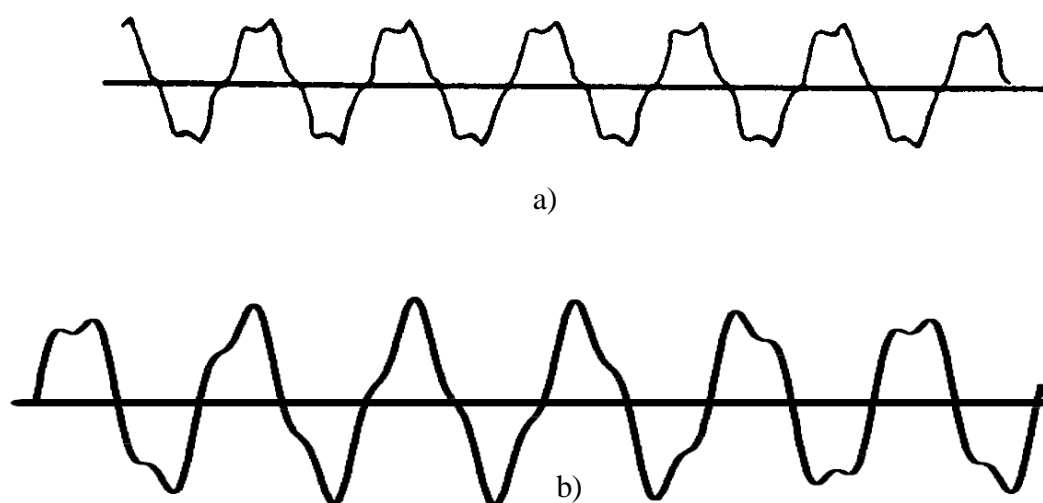
ACS-käytöissä yhteinen DC-kiskosto on yleensä koko rakenteen perusta. Se mahdollistaa energian jakamisen moottorien kesken.

IGBT:n toimintaan perustuvan jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan avulla voidaan esimerkiksi 440 V vaihtovirta (RMS) muuttaa tasavirraksi (600 V). (Mohan, Undeland & Robbins 2003)

Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja on virtavälipiirillisen taajuusmuuttajan (CSI) ohella käytetyin taajuusmuuttajatomologia. Virtavälipiirillisen taajuusmuuttajan yleistymistä rajoittaa sen tehoelektronikan rakenne. Pääasiassa sopivien kytkinlaitteiden puuttuminen on eniten rajoittava tekijä. Lisäksi tilaa vievä DC-kuristin (DC inductor) ja monimutkainen ohjausrakenne ovat hidastaneet virtavälipiirillisen taajuusmuuttajan käytön yleistymistä. Jännitevälipiirillinen taajuusmuuttaja on kaikkein yleisin taajuusmuuttajatomologia. (Sarén 2005:20)



Epälineaariset kuormat, tasasuuntaajat, kytkentään perustuvat tehonsyötöt ja tehomuuntimet (sarjaan kytketyt) ovat lisänneet harmonisten määrää. Jännitteen käyrämuotoa heikentävien vaikutusten lisäksi harmoniset aiheuttavat häviöitä ja lämmön nousua sähkölaitteissa. Muita haittavaikutuksia ovat vääntömomentin heikkeneminen, värähtelyt ja melu moottorissa, häiriöt herkkien laitteiden toiminnassa, resonanssi ja laitteiden enenaikainen vanheneminen. (Boldea, Blaabjerg, Lascu & Asiminoaei 2007)

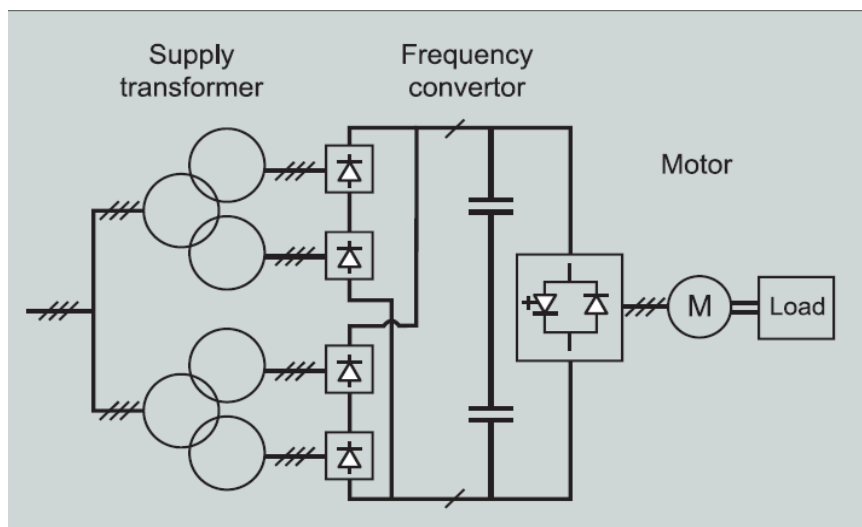


**Kuva 10.** Harmoninen (a) ja epäharmoninen (b) ylijännite vaikuttavat jännitteen käyrämuotoon heikentävästi. (ABB Oy 2000)

Harmonisia yliaaltoja voidaan vähentää lisäämällä diodisuuntaajan pulssilukua. 12- tai 24-pulssisilla diodisuuntaajilla saadaan poistettua ja vähennettyä sellaisia yliaaltoja, joita aiheutuu 6-pulssisen diodisuuntaajan käytöstä. 24-pulssisen diodisuuntaajan kustannukset ovat kuitenkin huomattavasti suuremmat kuin pienempien pulssilukujen suuntaajilla. Kuvassa 11 on esitetty viiden käämityksen muuntaja (5 winding transformer), joka syöttää pyörimisnopeussäädettyä käyttöä (VSD, variable speed drive) 24-pulssisen diodisuuntaajan avulla. (ABB Industry Oy 2000)

Pyörimisnopeussäädetyissä käytöissä taajuusmuuttajalla muutetaan jännitteen amplitudia ja taajuutta, jotka vaikuttavat sähkömoottorin pyörimisnopeuteen. Sähkömoottoria ohjataan taajuusmuuttajalla. Mitä suurempitaajuista jännitettä moottorille syötetään, sitä

nopeammin se pyörii. Jos taajuusmuuttajaa ei käytetä sähkömoottorin yhteydessä, sähkömoottori pyörii verkon määräämää tahtia. Ilman taajuusmuuttajaa verkon jännitteen taajuus määrää moottorin pyörimisnopeuden. Suoraan verkkoon kytketty moottori pyörii siis verkon taajuuden määräämällä nopeudella.



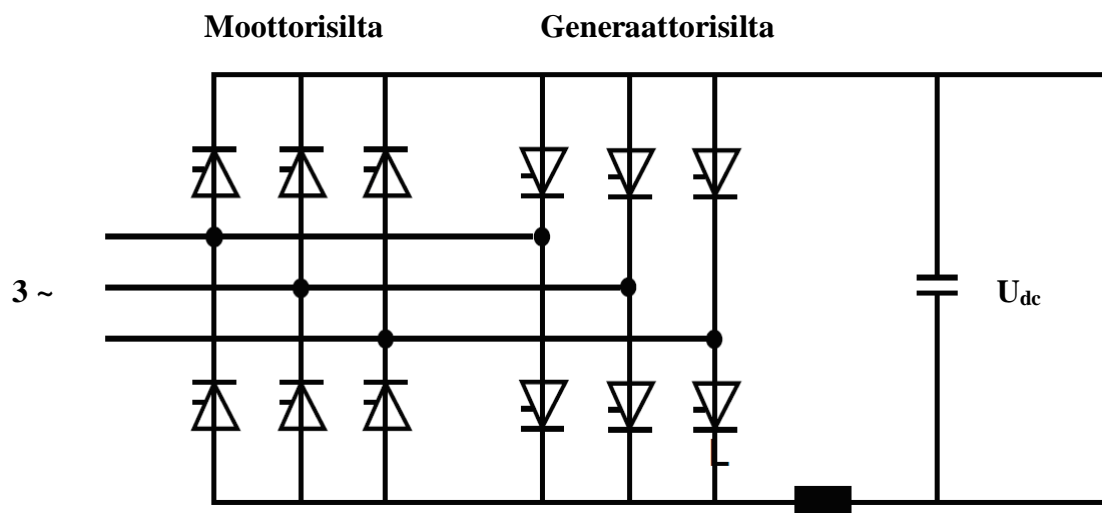
**Kuva 11.** Muuntaja (5-winding transformer), 24-pulssinen diodisuuntaaja ja VSD. (ABB Oy 2005)

Pyörimisnopeutta halutaan säätää monissa eri teollisuuden sovelluksissa. Näitä sovelluksia ovat pumppu-, ilmastointi-, kompressor- ja paperikonesovellukset. (ABB Oy 2005)

VSD-käytöissä värähtelevästä (oskilloiva) ylijännitteestä (moottorin navoissa) on tullut yleinen ilmiö. Pyörimisnopeussäädetty käyttö on laitteisto, joka säätää sähkömoottorin pyörimisnopeutta ja sen antamaa vääntömomenttia. Värähtelevän ylijännitteen ongelmaa on alkanut ilmetä laajalti silloin kun IGBT on otettu käyttöön pienjännitteisissä taajuusmuuttajakäytöissä. Ylijännite on seurausta invertterin tuottamasta pulssimuotoisesta jännitteestä ja impedanssien yhteensopimattomuudesta invertterin, moottorikaapelin ja moottorin välillä. Ylijännitteet ovat haitallisia sähkömoottorille ja voivat aiheuttaa muun muassa eristyshäiriöitä. Ongelman korjaamiseksi on kehitetty useita menetelmiä. Useimmat niistä perustuvat kuitenkin häviöllisten passiivisten komponenttien käyttöön suodattimina. Näiden passiivisten komponenttien koko ja kustannukset ovat suuret.

Tyristorisyöttöyksikköä (TSU) käytetään järjestelmissä, jotka jarruttavat verkkoon. Kun moottori on kytketty suoraan verkkoon, jarrutusenergia menee sähköverkkoon. (Aura 1986) Tyristoriyksikkö muuntaa kolmivaiheisen vaihtojännitteen tasajännitteeksi, kuten diodisyöttöyksikkö. Tyristorisuuntaaja pystyy siis tasasuuntaukseen ja tehon takaisinsyöttöön tasasähköpuolelta vaihtosähköverkkoon. Diodisuuntaaja ei siis jarruta verkkoon, mutta tyristorisuuntaaja jarruttaa. Tyristorisuuntaajan tärkein piirre on ohjattavuus eli se, että lähtöjännitettä voidaan ohjata tyristorien hilapulsseilla.

Taajuusmuuttajan diodisilta voidaan korvata kahdella rinnankytketyllä tyristorisillalla. Tyristorisyöttöyksikön tärkeimmät osat ovat kaksi 6-pulssista tyristorisiltaa, jotka on kytketty vastarinnan (kuva 12). Näitä vastarinnankytkettyjä siltoja voidaan nimittää moottorisillaksi ja generaattorisillaksi. 3-vaiheinen vaihtovirta syötetään moottorisillalle, joka muuttaa sen tasavirraksi. Moottorisilta syöttää tasavirtaa käyttöille eli vaihtosuuntaajille välipiirin kautta. Generaattorisilta muuttaa tasavirran takaisin vaihtovirraksi, jos ylimääräistä moottorin jarrutustehoa halutaan siirtää takaisin valtakunnanverkkoon.



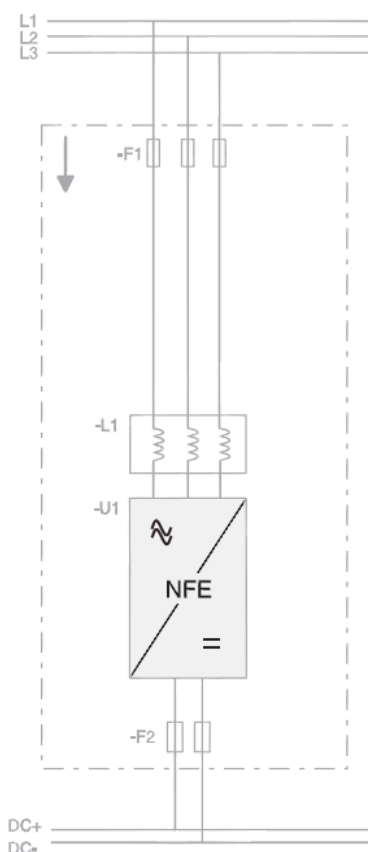
**Kuva 12.** Tyristorisyöttöyksikkö, jossa on kaksi vastarinnan kytkettyä 6-pulssista tyristorisiltaa. (ABB Oy 2001)

Tyristorisillat toimivat vuorotellen eli vain toinen toimii kerrallaan. Kun toista siltaa ohjataan, toisen toiminta on estetty. Tällä tavalla mahdollistetaan tyristorisyöttöyksikön



toiminta. Tyristorien toiminnassa keskeistä on välipiirin jännitteen pitäminen halutulla tasolla. Jotta tämä jännite pysyy tietyllä tasolla, täytyy tyristorien syttymishetkiä säädellä jatkuvasti. Syöttövirran, syöttöjännitteen ja välipiirin jännitteen arvot vaikuttavat sekä moottorisillan että generaattorisillan valintaan. Myös välipiirin jännitteen säätö perustuu näihin mitattaviin arvoihin. Välipiirissä sijaitsevan kuristimen avulla tasoitetaan jännitepiikkejä. Kuristin estää virran nopeita vaihteluita. Välipiirin kondensaattori on jänniteväreen tasoittamista varten.

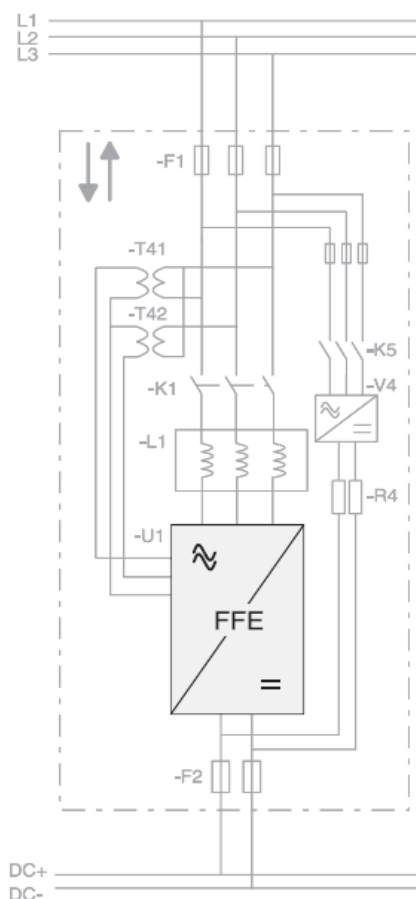
Vaconin NFE on yksisuuntainen eli ei-regeneratiivinen tehomuunnin, jolla syötetään tehoa tasajännitekiskostoon (Common DC-bus). NFE toimii kuten diodisilta ja siinä käytettävät komponentit ovat joko diodeja tai tyristoreja. Syötössä (input) käytetään laitekohtaista ulkoista kuristinta. NFE:llä virtaa voidaan syöttää yhteiseen DC-kiskostoon. NFE ja siihen liittyvät komponentit on esitetty kuvassa 13.



**Kuva 13.** Valtakunnanverkosta ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ) syötetään virta kuristimien kautta NFE:lle, joka muuntaa vaihtovirran tasavirraksi ja syöttää sen DC-kiskostoon. (Vacon 2010)

NFE-yksikkö sopii laitteistoihin, joissa harmonisten ylijännitteiden normaali taso on sallittu ja joissa riittää yksisuuntainen tehonsiirto. Laitteen lataus suoritetaan tyristorien ohjauksella, joten ulkoista latauspiiriä ei tarvita. Nämä yksisuuntaiset tehomuunnit (NFE) voidaan kytkeä rinnakkain (samansuuntaisesti) ilman mitään yksiköiden välisiä erikoiskytkentöjä.

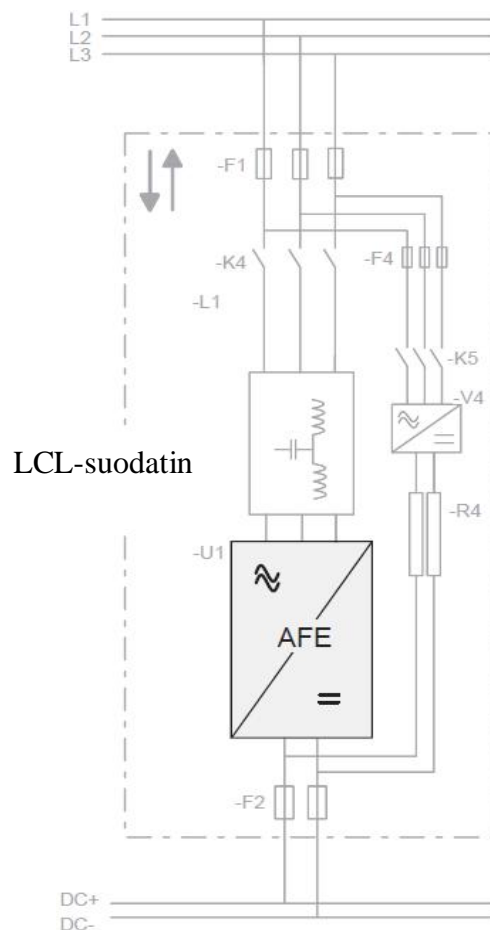
Vacon Oy:n FFE (Fundamental front-end) tarkoittaa perussyöttöyksikköä, joka on kaksisuuntainen. Tehoa voidaan siis syöttää DC-kiskostoon ja takaisin sähköverkkoon. FFE on esitetty kuvassa 14. Se muuntaa NFE:n tapaan vaihtosähköä tasasähköksi. Se on laite, joka toimii diodisillan tavoin syöttäessään virtaa moottoriin päin. Toisaalta FFE toimii kuten kaksisuuntainen (vastarinnan kytketty) tyristorisilta, kun se syöttää virtaa molempiin suuntiin (inverttereille ja sähköverkkoon).



**Kuva 14.** Kaksisuuntainen tehonmuunnin FFE, jossa on laitekohtainen ulkoinen kuristin ja ulkoinen latauspiiri. (Vacon 2010)

Vaikka FFE:n toiminnassa on yhtäläisyyksiä diodisillan ja tyristorisillan toiminnan kanssa, siinä käytettävät komponentit eivät ole diodeja eivätkä tyristoreja. FFE:ssä käytetään IGBT-transistoreja eikä se tarvitse säästömuuntajien käyttöä. Vastarinnankytkeytyt tyristorisillat vaativat säästömuuntajan. Tämä on yksi etu FFE:n hyväksi, kun sitä verrataan tyristorisyöttöyksikköön. FFE-yksikköä voidaan ohjata ja valvoa kenttäväylän avulla ja se voidaan kytkeä samaan kenttäväylään invertterin kanssa.

FFE-yksiköitä ei voida kytkeä rinnan korkeampaa syöttötehoa (front end power) haluttaessa. Sen takia ne eroavat muun muassa AFE-yksiköistä (kuva 15), jotka voidaan kytkeä rinnan ilman yksikköjen välisiä kytkentöjä. Jos syöttötehoa halutaan nostaa FFE-yksiköitä käytettäessä, voidaan käyttää 12-pulssista muuntajaa. 12-pulssinen ratkaisu voidaan tehdä käyttämällä yhtä muuntajaa tai kahta erillistä muuntajaa.



**Kuva 15.** Kaksisuuntainen tulosilta (AFE). (Vacon 2010)

AFE-yksikkö on aktiivinen syöttöyksikkö eli kaksisuuntainen tehonmuunnin. Sen syötössä käytetään ulkoista LCL-suodatinta. Yksikköä käytetään sellaisissa sovelluksissa, joissa verkkoon kohdistuvien harmonisten virtojen on oltava mahdollisimman pieniä. Ulkoinen LCL-suodatin on esitetty kuvassa 15.

LCL-suodattimessa kelat ovat sarjassa ulostulojohtimien kanssa. Kondensaattorit on kytketty rinnan ulostulovaiheiden kanssa. LCL-suodatinpiirin topologiassa kondensaattorit voidaan kytkeä tähteen ja tähtipiste voidaan yhdistää invertterin negatiiviseen DC-kiskoon (DC bus). Kytkeä negatiiviseen kiskoon ei ole välttämätön tämän suodattimen toiminnalle. Joissain tilanteissa voi kuitenkin olla hyötyä siitä, että kondensaattorien tähtipiste on kytketty tunnettuun pisteeseen (nollapotentiaali). (Ström 2009)

LCL-suodatusta voidaan verrata  $du/dt$ -suodattukseen, jonka ideana on poistaa jännitepiikkejä. Terävät pulssit (jännitepiikit) aiheutuvat taajuusmuuttajan toimintatavasta. Kun halutaan vähentää vaihe- ja verkkojännitteiden vaihteluita, käytetään  $du/dt$  -suodatinta, jota voidaan kutsua myös kuristimeksi. Tämä suodatin vähentää lisäksi käämitysten sisäistä jänniterasitusta, yhteismuotoisia virtoja sekä laakerivirtoja.  $du/dt$ -suodattimen avulla kontrolloidaan ulostulojännitteen muutosta ajan suhteen. (Ström 2009)

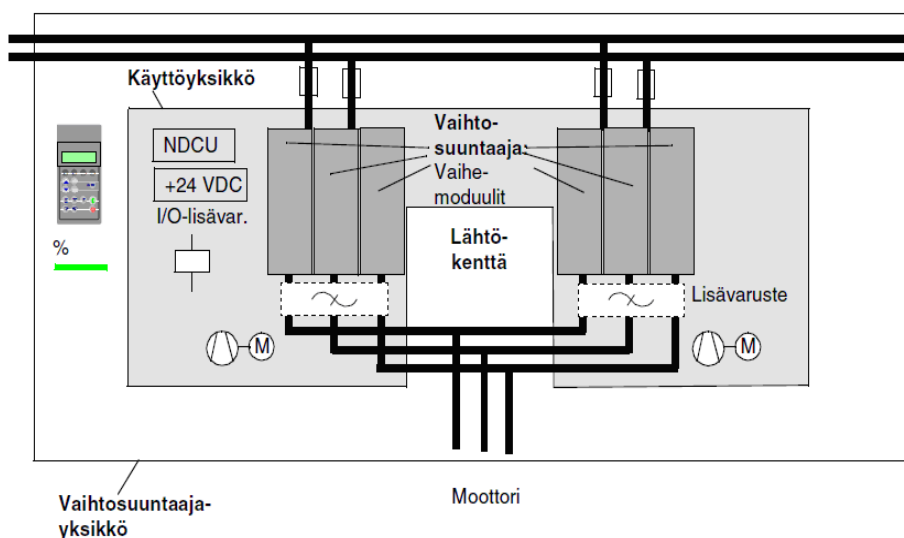
LCL-suodatin tekee sinimuotoista jännitettä,  $du/dt$ -suodatin vain poistaa jännitepiikkejä (passiivinen laite). Jännitepiikit ovat selvästi sallitusta jännitteen huippuarvosta eroavia piikkejä. Jos sinimuotoisen jännitteen huippuarvo on esimerkiksi 690 V, siinä voi esiintyä piikkejä, joiden jännite on 2500 V. Näin korkeat jännitepiikit hajottavat moottorin eristeitä.

LCL-suodattimen ja  $du/dt$ -suodattimen erona on myös se, että LCL-suodattimen häviöt ovat huomattavasti suuremmat kuin  $du/dt$ -suodattimen häviöt. Tämä johtuu suodattimen rakenteesta ja toimintaperiaatteesta.

### 2.4.2. Vaihtosuuntaajayksiköt

Vaihtosuuntaajayksiköt sisältävät nimensä mukaisesti vaihtosuuntaajia eli inverttereitä. Invertteri on laite, joka muuntaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi. Vaihtosuuntaajayksikössä invertteri muuntaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi ja syöttää sen sitten sähkömoottorille. Yleensä syötettävä moottori on kolmivaiheinen oikosulkumoottori. Vaihtosuuntaajan sähkötekniinen piirrosmerkki on neliö, joka sisältää DC/AC-muunnosta kuvaavan symbolin. Paperikoneiden linjakäytöissä invertteri on oleellinen osa käyttöryhmää. Invertterit syöttävät ja ohjaavat eri käyttöryhmien sähkömoottoreita siten, että linjastossa vaadittava yhteistoiminta on mahdollista.

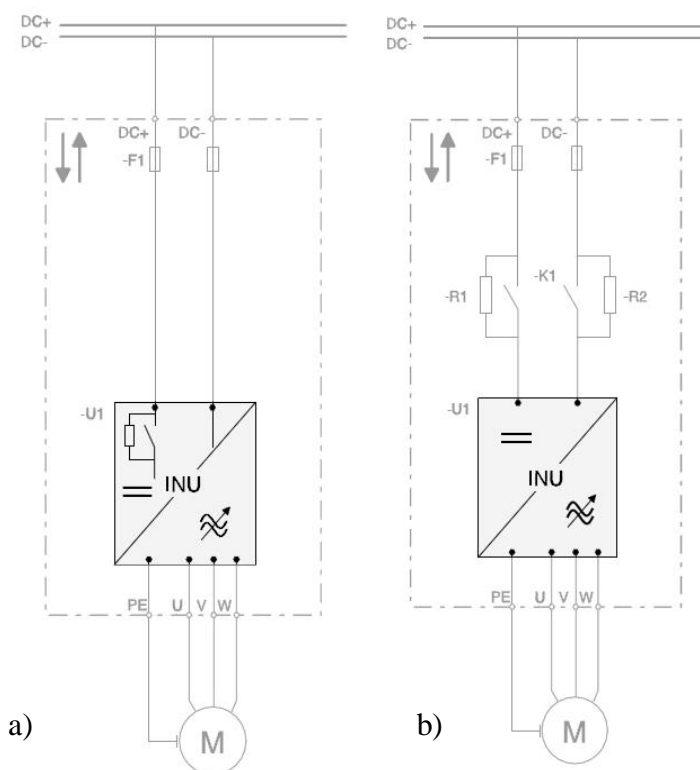
Kuva 16 kokonaisuudessaan esittää vaihtosuuntaajayksikköä. Yksikkö on yhdistetty jarruosiin ja syöttöyksiköihin yhteisen DC-kiskoston avulla (kuvan 16 yläreuna). Vaihtosuuntaajayksikköön kuuluu yhdestä kolmeen käyttöyksikköä ja moottorilähtökenttä. Moottorilähtökentän avulla yksikkö on yhdistetty moottoriin ja sitä kautta tapahtuu jännitteensyöttö (AC) moottorille. Vaihtosuuntaajayksikköön kuuluu myös käyttökojeiston mekaniikka eli mekaaniset rakenteet, eli tila johon sähköiset ja elektroniset laitteet ja komponentit asetetaan. Vaihtosuuntaajayksikköön kuuluvat myös DC-sulakkeet ja varokeykkin. Mahdollisina lisävarusteina saattavat olla vielä erityiset ohjauspaneelit ja näytöt.



**Kuva 16.** 2 x R11i-vaihtosuuntaajayksikön lohkokaavio. (ABB Oy 2001)

Käyttöyksikkö on vaihtosuuntaajayksikön sisällä oleva kokonaisuus. Käyttöyksikköön kuuluvat invertteri, ulkoiset vaihtosuuntaajayksikön jäähdytyspuhaltimet ja käytön ohjausyksiköt (NDCU). Käytön ohjausyksiköihin kuuluvat sovelluksen ja moottorin ohjauskortit (NAMC) sekä vakio I/O-kortti (NIOC). Jos käytetään rinnan kytkettyjä vaihtosuuntaajia, täytyy käyttöyksikössä olla optinen haaroitusyksikkö (NPBU). Tämä optinen haaroitusyksikkö yhdistää vaihtosuuntaajat moottorilähtöihin. Käyttöyksikön lisävarusteita voivat olla ohjauskaapelointi ja releet sekä  $du/dt$ -suodatin.

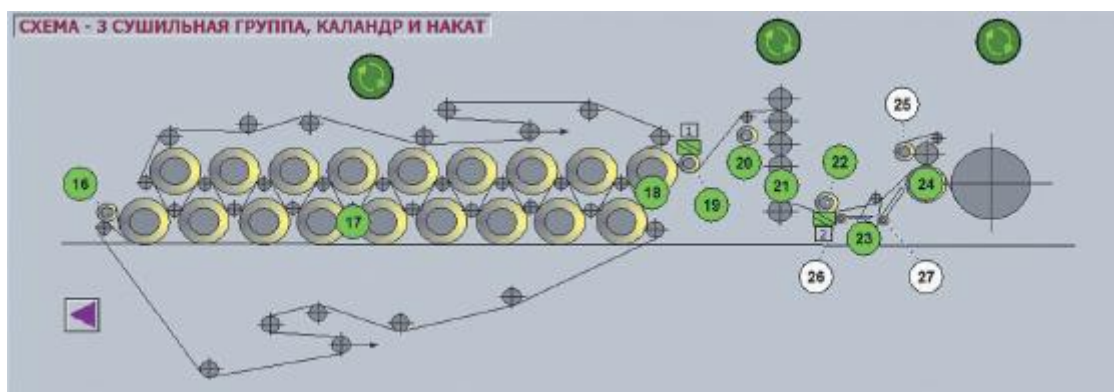
Invertteri on laite, joka on tarkoitettu vaihtovirtamoottorin virransyöttöön ja ohjaukseen. Invertteri on joko kaksisuuntainen tai yksisuuntainen ja se toimii tasavirralla. Laite saa siis toimintaansa tarvittavan virran DC-kiskostosta. Latauspiiriä tarvitaan silloin kun jännitteeseen DC-väylään (DC-kiskostoon) halutaan liitännämahdollisuus. Kuten kuvasta 17 nähdään, latauspiiri on integroitu pienen tehoalueen laitteisiin (FR4-FR8). Latauspiiri on merkitty piirikaaviokuvaan invertteriyksikön sisälle. Nämä laitteet käsittävät tehoalueen 75 kW saakka. Suurilla tehoalueilla (FI9-FI14) (kuva 17 b) tarvitaan erillinen latauspiiri.



**Kuva 17.** Kaksi invertteriyksikköä, joista (a) on tarkoitettu malleihin (FR4-FR8) ja (b) malleihin (FI9-FI14). (Vacon 2010)

### 3. PAPERIKONEEN ERI KÄYTTÖRYHMÄT

Paperikoneiden rakenne koostuu eri käyttöryhmistä, joissa tapahtuu paperin valmistus, muokkaaminen ja viimeistely. Paperikoneen eri käyttöryhmät koostuvat viiraosasta (wire section), puristinosasta (press section), kuivausosasta (dryer section), kalanterista (calender stack) ja rullaamista (machine reels). Kuivausosa koostuu alkukuivauksesta (pre dryer section), päällystysyksiköstä (coating unit) ja jälkikuivauksesta, jotka on sijoitettu suljettuun huuvaan (closed hood). Suljetussa huuvassa sijaitsee myös lämmön talteenotto. Kuvassa 18 kuivausosa on merkitty numerolla 17. Kalanterin osuus alkaa numeron 21 kohdasta. Äärimmäisenä oikealla sijaitsevat rullaimet.



**Kuva 18.** Solikamskbumprom- paperikoneen käyttöryhmät. (Iivanainen 2011)

Paperikoneessa rainanmuodostus tapahtuu heti koneen alkuosassa (märkäpää, viiraosa). Nimike märkäpää johtuu vetisestä seoksesta, johon on sekoitettu paperin valmistukseen käytettävät aineet. Paperin valmistus aloitetaan tällaisesta märästä seoksesta. Seos levitetään ja siitä poistetaan vettä puristamalla ja haihduttamalla. Veden poistamisen seurauksena syntyy kuiva raina. Rainanmuodostus on tärkeä asia kun ajatellaan paperin lopullista laatua.

Paperikoneen kuluttama sähkö kuluu koneen käyttöihin eli telojen ja sylinterien pyörittämiseen sekä tyhjiöpumppuihin. Tyhjiöpumppuilla saadaan aikaan alipaineen myötä tehokkaampi veden poistaminen rainasta viiraosalla. Sähköä kuluttaa myös infrapuna kuivain, mikäli paperikoneessa sellainen on. Lämpöä paperikone kuluttaa enimmäkseen kuivatusosalla, joten kuivatusosan tehokkuus vaikuttaa suoraan paperikoneen

käytöstä aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin. Kuivatusosalla vettä poistetaan höyrystämällä, mikä kuluttaa huomattavasti enemmän energiaa kuin veden mekaaninen puristaminen. (Paatero 2008)

Paperikoneen teloja, sylintereitä, tyhjiöpumppuja ja infrapunakuivaimia pyörittävät sähkömoottorit, joiden pyörimisnopeus tulee olla ratanopeuden suhteen sama. Esimerkiksi paperi ei voi liikkua telassa, mikäli kaikkien telojen ratanopeus ei ole sama. Paperikoneen toiminnalle linjakäyttö on merkittävä käsite. Telojen tulee pyöriä samalla ratanopeudella eli niiden tulee toimia toisiinsa nähden tietyllä tavalla. Telan vaadittavaan pyörimisnopeuteen vaikuttaa sen koko eli sen halkaisija. Halkaisijaltaan pienempi tela joutuu pyörimään suuremmalla nopeudella kuin suurempi tela, jotta saavutetaan sama ratanopeus. Ratanopeudella on siis suuri merkitys, kun puhutaan paperikoneiden linjakäytöistä.

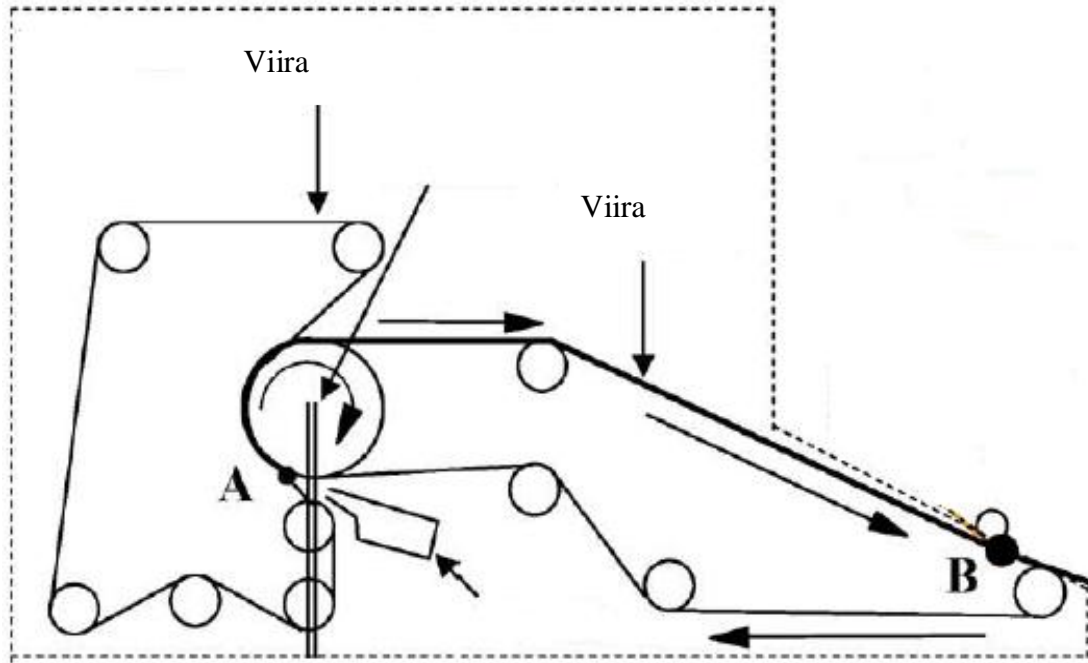
### 3.1. Viiraosa

Viiraosa on paperikoneen alkupäässä sijaitseva osio, jossa tapahtuu paperimassan kuivattaminen. Se määrittelee hyvin pitkälti paperin lopullisen laadun, ja tähän laatuun liittyy paperin tuleva käyttökohde. Käyttökohteesta riippuen paperin loppukosteus voi vaihdella ja tuleva käyttökohde asettaa vaatimukset sille, mikä on sopiva paperin kosteus. Viiraosaan liittyviä keskeisiä termejä ovat muiden muassa paperin vesimäärä ja paperin kuiva-aine pitoisuus. Viiraosassa poistetaan suurin osa paperin kokonaisvesimäärästä. Veden poiston jälkeen paperin kuiva-ainepitoisuus voi olla jo noin 15 - 20 %. Tämä on siis prosenttiosuus, jonka verran paperiainesta tässä vaiheessa sisältää kuivaa ainetta.

Raina siis muodostuu paperikoneen viiraosalla perälaatikon suihkuttamasta vetisestä paperimassasta. Kuvassa 19 on esitetty paperikoneen viiraosa. Viira voi olla valmistettu joko muovista, lasikuidusta tai teräksestä. Viira kiertää viiraosassa telojen välissä siten, että sen molemmat puolet koskettavat telaa. Perälaatikon ja viiraosan muodostaman osion (märkäpää) jälkeen paperi ei enää varsinaisesti muodostu, vaan ainoastaan kuivaa.



Riittävän kuiva-ainepitoisuuden saavuttaminen on tärkeää, jotta rainan (paperiaineksen) siirto viiralta puristimelle onnistuu ja on helppoa. Riittävä kuiva-ainepitoisuus on tärkeää myös siksi, että viiraa seuraavalla puristinosalla saavutetaan hyvä ajettavuus. Hyvä ajettavuus takaa sen, että paperin valmistus on sujuvaa, taloudellista ja energiatehokasta.



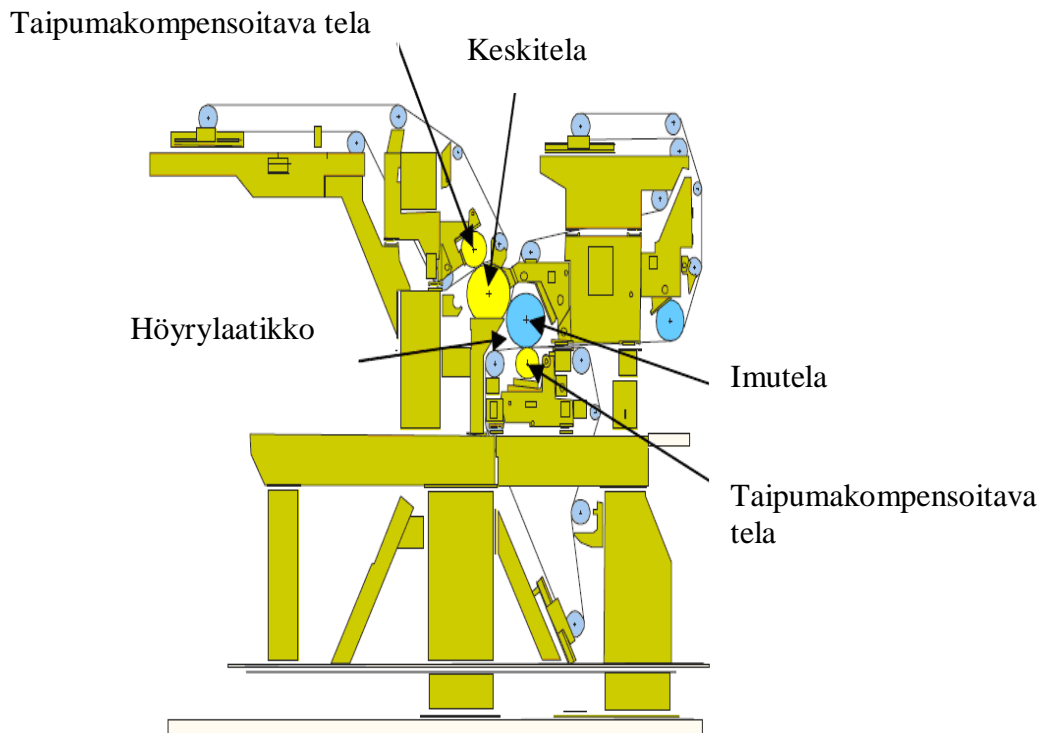
**Kuva 19.** Paperikoneen viiraosa, jossa kaksi viiraa kiertää telojen välissä. (Costas & Athanasios 2007)

### 3.2. Puristinosa

Puristinosa on viiraosaa seuraava osa paperikoneessa. Puristinosassa paperin kuiva-ainepitoisuus kasvaa huomattavasti. Likimääräisesti voidaan sanoa, että kuiva-ainepitoisuus muuttuu arvosta 20 % arvoon 40 %. Puristimella pyritään saattamaan paperin koostumus sellaiseksi, jotta se voidaan siirtää edelleen kuivatusosaan. Puristimella pyritään saamaan mahdollisimman paljon kosteutta pois paperista, jotta kuivatusosassa säästetään kallista höyryenergiaa. Puristinosassa paperirainasta puristetaan vettä pois telojen muodostamien nippien avulla. Raina kulkee yhdessä yhden tai kahden huovan kanssa nipin lävitse ja nämä nipit puristavat veden pois. Nipit aiheuttavat hydraulisen paineen, joka on ainoa vettä poistava voima puristinosassa. Puristuksessa vesi siirtyy

rainasta huopaan. Veden siirtymiseen vaikuttavat muun muassa huovan ja telan rakenne, lämpötila, massan koostumus, koneen nopeus ja viivakuorma. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2000)

PK3 on sanomalehtipaperikone, joka sijaitsee UPM-Kymmene Oyj:n Kajaanin tehtaalla. Se valmistaa erikoissanomalehtipaperia ja kirjapaperia painotaloille, jotka asettavat korkeat laatuvaatimukset ostamalleen paperille. Puristinosa on merkittävä tekijä myös tämän paperikoneen toiminnassa. Kuva 20 esittää paperikoneen puristinosa, jossa erityisesti ovat näkyvissä eri telojen muodostamat nipit. Kuvan 20 esimerkissä paperirata kulkee puristinosan läpi oikealta vasemmalle. Eniten oikealla sijaitsevat imutela ja taipumakompensoitava tela muodostavat ensimmäisen nipin, jossa vettä puristuu pois paperiaineksesta. Keskellä puristinosa sijaitsee toinen nippi, joka muodostuu keskitelasta ja imutelasta. Kolmanteen nippiin kuuluvat taipumakompensoitava tela ja keskitela (vasemmalla kuvassa 20). Veden poistuminen nipeissä tapahtuu joko ylös- tai alaspäin, tai molempiin suuntiin.



**Kuva 20.** Valmetin Sym-Press, joka toimii paperikoneen puristinosa. (UPM-Kymmene Kajaani 2004)

### 3.3. Kuivatusosa ja kalanterointi

Puristinosasta raina johdetaan kuivatusosaan ja kalanteroitavaksi. Kuivatusosassa paperirainasta poistetaan vettä nimenomaan haihduttamalla, eikä mekaanisesti, kuten aiemmin puristinosassa. Kuivatusosassa raina kulkee sylinterimäisten telojen välissä. Telat ovat kuumia, koska niitä lämmitetään höyryllä. Näiden kuumien telojen vaikutuksesta rainasta poistuu kosteutta. Raina kulkee telojen välissä siten, että sen molemmat puolet koskettavat telojen pintoja. Tällä tavalla vesi höyrystyy rainan molemmilta puolilta. Kuuman sylinterimäisen telan lämpö siirtyy paperiin ja haihduttaa siitä vettä. Paperin kuivatus tapahtuu suljetun huuvin sisällä, jotta lämpöenergia voidaan ottaa talteen myöhempää käyttöä varten.

Kuivatusosassa kuivatustapahtuman alussa paperirainaan siirtyy lämpöä (telasta), jolloin sen lämpötila nousee tiettyyn arvoon. Tämän jälkeen tapahtuu höyrystymistä ja kuivumisnopeus kasvaa. Kuivumisnopeus saavuttaa tietyn ajan kuluttua huippunsa, jonka jälkeen kuivuminen jatkuu vakionopeudella. Vakionopeuden kuivumisen aikana vettä höyrystyy paperin pinnasta ja paperin kosteusprosentti pienenee. Sopiva paperin lopukosteus voi olla vaikka 9 - 10 %, riippuen käyttötarkoituksesta ja laatuvaatimuksista. Kuivumisnopeus on lähes vakio 10 - 15 % tasolle asti. Sen jälkeen se alkaa hidastua huomattavasti. (Mäkelä 2003)

Kuivatusosan jatkona on konekalanteri, jossa paperi puristetaan kahden tai useamman telan välissä. Puhutaan niin sanotusta kalanteroinnista. Kalanterissa on valuraudasta valmistettuja teloja, joista osa on taipumakompensoituja. Kalanteroinnin vaikutuksesta paperin muoto muuttuu sekä vertikaalisesti että paksuussuuntaisesti. Paperin muotoa muuttavat puristusaine, leikkausvoimat ja kitkavoimat. Muodonmuutokseen vaikuttavat myös prosessissa tapahtuvat lämpötilan nousu ja kosteuden lisääntyminen.

Taipumakompensointi tarkoittaa valurautaisen telan sisäisten paine-erojen säätämistä. Teloja kuormitettaessa niihin vaikuttavat voimat aiheuttavat taipumaa, joka täytyy kompensoida säätämällä telan sisäisiä paine-eroja. Taipumakompensointi on merkittävä menetelmä, kun ajatellaan kalanteroinnissa valmistuvan paperin laatua. Telan taipumat

ja muodonmuutokset vaikuttavat paperin profiilin muotoutumiseen. Taipumakompensoinnilla voidaan poistaa esimerkiksi paperin paksuudessa tapahtuvia muutoksia.

Kalanterointi on viimeinen paperivalmistuksen vaihe, ja sillä voidaan merkittävästi vaikuttaa paperin lopullisiin ominaisuuksiin. Kalanteroitiin on olemassa monia erilaisia menetelmiä, joilla vaikutetaan paperin pintaominaisuuksiin, karheuteen, huokoisuuteen, jäykkyyteen, lujuuteen, paksuusprofiiliin ja optisiin ominaisuuksiin. Yleisimmät kalanterointimenetelmät ovat konekalanterointi metalliteloilla, softkalanterointi, superkalanterointi, monitelakalanterointi ja pitkänippikalanterointi. (Häggbloom-Ahnger & komulainen 2003:204)

### 3.4. Rullaus

Rullauksen tarkoituksena on muuntaa tasomaiseksi valmistettu paperi tai kartonki helpommin käsiteltävään muotoon. Kiinnirullaimella paperikoneen jatkuva prosessi katkeaa ja siirrytään jaksoittain tapahtuvaan toimintaan. Tämä jaksottaisuus pyritään tekemään mahdollisimman suurella hyötysuhteella, jotta jo tehtyä työtä ei haaskattaisi.

Rullausprosessiin kuuluu neljä päävaihetta: rullauksen hallinta ennen rullainta, kiinnirullauksen tapahtuma, vaihtotapahtuma ja valmiin rullan käsittely (aukirullaus). Rullaus pyritään aina suorittamaan mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Hyötysuhde voidaan jakaa kahteen ryhmään, aika- ja materiaalihyötysuhteeseen. Käyttöhenkilöstön työtaidoilla on suuri vaikutus kumpaankin ryhmään.

Aika ja materiaalihyötysuhteiden kustannusvaikutus on erilainen. Prosessivaiheesta riippuu kuinka paljon siitä aiheutuu kustannuksia. Tähän vaikuttavat materiaalin valmistamiseen uhrattu raaka-ainemäärä, tehty työ ja käytetty energia. Koska aiheutuneet kustannukset riippuvat prosessivaiheesta, myymättä jäänyt tuotanto ei anna aivan oikeaa kuvaa tilanteesta. Se on kuitenkin käyttökelpoinen mittari kuvaamaan rullauksen tehokkuutta.

Vuodessa on 8760 tuntia, eli aikahyötysuhteen yksi prosentti vastaa noin 88 tunnin ajo-aikaa. Katkojen tai koneen seisomisen aiheuttaman tuotannonmenetyksen kiinniajaminen nopeutta nostamalla ei ole helppo tehtävä. Jos vaikka linjan ajonopeus on 1500 m/min, viiden minuutin katkosta aiheutuva tuotannon menetys on 7500 m. Jos tätä pyritään ajamaan kiinni nostamalla nopeutta 50 m/min, kestää 150 min eli 2,5 h, ennen kuin tuotantoa on tehty sama määrä kuin ilman katkoa. Katkojen minimoinnilla ja hyvällä katkotilanteiden hallinnalla voidaan siis vaikuttaa huomattavasti koneen aikahyötysuhteeseen.

Taulukossa 3 on kiinniajamiseen kuluva aika, kun linjan ajonopeus on 1500 m/min ja tapahtuu 5 min katkos. Tuotannon menetyksen arvo on siis 7500 m. Nopeutta nostetaan kerrallaan 50 m/min.

**Taulukko 3.** Kiinniajamiseen kuluva aika ajonopeutta nostettaessa. On tapahtunut 5 min katkos ajonopeudella 1500 m/min.

Katkoksen aiheuttama tuotannon menetys 7500 m			
Ajonopeus	Ajonopeuden lisäys (m/min)	Katkon pituus (min)	Kiinniajamiseen kuluva aika (min)
1550	50	5	150
1600	100	5	75
1650	150	5	50
1700	200	5	37,5
1750	250	5	30
1800	300	5	25
1850	350	5	21,4
1900	400	5	18,75
1950	450	5	16,7
2000	500	5	15

Taulukosta 4 nähdään 30 minuutin katkoksen kiinniajamiseen kuluva aika. Tuotannon menetys on silloin 45000 m. Jos ajonopeutta nostetaan 50 m/min, menetetyn tuotannon kiinnisaamiseen kuluu aikaa 900 min eli 15 h. Vaikka nopeutta nostetaan 500 m/min (2000 m/min), aikaa kuluu 90 min.

**Taulukko 4.** Tuotannon kiinniajamiseen kuluva aika, kun katkoksen pituus on 30 min. Katkos on tapahtunut ajonopeudella 1500 m/min.

Katkoksen aiheuttama tuotannon menetys 45000 m			
Ajonopeus	Ajonopeuden lisäys (m/min)	Katkon pituus (min)	Kiinniajamiseen kuluva aika (min)
1550	50	30	900
1600	100	30	450
1650	150	30	300
1700	200	30	225
1750	250	30	180
1800	300	30	150
1850	350	30	128,6
1900	400	30	112,5
1950	450	30	100
2000	500	30	90

Rullauksessa aiheutuva hylkymäärä perinteisellä pope-rullaimella voi olla varsin suuri. Linjasta riippuen jopa 18 % tuotannosta saattaa mennä pulpperiin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003:220-221) Pope-rullain on vanhin nykyisin käytössä olevista rullaintyypeistä. Sen toiminta perustuu yhteen käyttömootorilla varustettuun telaan eli rullaussylinteriin ja sitä vastaan painettavaan rullaan. Muodostettava rulla pyörii rullaussylinterin ja paperin välisen kitkan avulla.

Tällainen pintavetoinen rullain on hyvä kun tehdään pieniä rullia eikä paperi ole herkkä nippikuormalle. Paperin täytyy olla myös riittävän kokoonpuristuvaa. Pope-rullain on varsin varmatoiminen ja rakenteeltaan yksinkertainen. Sen hyötysuhde on kuitenkin huonompi kuin uudemmilla keskiökäyttöisillä rullaimilla.

Kaikilla suurilla paperikonevalmistajilla on pope-rullaimen lisäksi myynnissä myös kehittyneempi versio rullaimesta. Uusissa versioissa on otettu kolmas säätösuure eli keskiömomentti mukaan rullaustapahtumaan. Pintavetoon verrattuna saavutetaan huomattavasti suuremmat rullat ja huomattavasti parempi rullan rakenne. Kehittyneempi versio rullaimesta vaatii kuitenkin liikkeiden ja rullausparametrien säätöön huomattavasti monimutkaisemman rakenteen kuin vanha pope-rullain.

Sähkökäyttöjen määrä lisääntyy näissä rullaimissa yhdestä kolmeen tai neljään. Rullaussylinteri tarvitsee yhden ja keskiövedon hallinta kaksi sähkökäyttöä. Rullan pinnan viimeistelemiseen voidaan käyttää vielä yhtä käyttöä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2003:220-227)

#### 4. TUOTTEISTAMINEN JA VAKIOINTI

Tässä luvussa käsitellään tuotteistamista ja vakiointia. Nämä käsitteet ovat keskeisiä tätä diplomityötä ajatellen, koska aiheena on jo vakioitujen sähköisten käyttösovellusten tuotteistaminen. Yleensä tuotteistamisella haetaan teollisuudessa kilpailuetua ja toiminnan järjeistämistä. Myös sähköyhtiöt ovat alkaneet hakea kilpailuetua ja toiminnan järjeistämistä tuotteistamisen avulla. Sähköyhtiöt ovat alkaneet myydä sähkön ohella lisäarvoa ja palveluita paremman tuoton saamiseksi. Tällä lisäarvolla tarkoitetaan sähkön tuotteistamista. Vahvalla tuotteistamisella sähkön arvo ja imago nousevat. Sähkön tuotteistamista on esimerkiksi se, että sähkösopimuksen tehneelle kuluttajalle taataan, että hänen ostamansa sähkö on vesivoimalla tai tuulivoimalla tuotettua niin sanottua ”vihreää sähköä”. (Korpinen 1998) Vakiointi on erittäin läheisesti tuotteistamiseen liittyvä käsite. Esimerkiksi tuotteen komponenttien vakioimista ja sitä kautta tuotteen sisällön toiminnallista määrittelyä voidaan pitää tuotteistamisena.

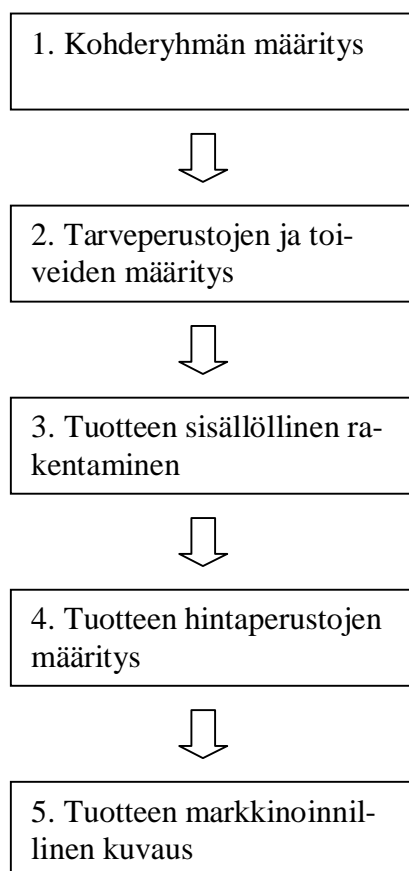
##### 4.1. Tuotteistamisen määrittely

Tuotteistamisen perusajatus on uuden tuotteen tai palvelun kehittäminen ja sen tuominen markkinoille. Tuotteistuksen tavoitteena on kehittää ja saavuttaa kilpailukykyinen tuote. Tuotekehitysprosessi kerää tietoa, jonka avulla tuote saadaan vastaamaan mahdollisimman tarkasti asiakkaan tai asiakkaiden tarpeita. Epäonnistumisen riski pienenee uutta tuotetta tuotaessa markkinoille, kun se on tarkasti ennakoon suunniteltu. Tuotteistamisen avulla saadaan tarkka kuva tuotteen hinta/laatu -suhteesta. Toisin sanoen voidaan paremmin arvioida vastaako tuotteen laatu sen hankintaan käytettävää rahamäärää. Tuotetta muodostettaessa tulee ottaa huomioon yksiselitteisyys, vertailukelpoisuus ja asiakaslähtöisyys. Tuotteen muodostamisperusteet ovat palvelun tarkoitus, kohderyhmä, laajuus, vaativuus, toteutustapa ja palvelutarve. (Rope 2005:217)

Kuvassa 21 on esitetty tuotteistusprosessi pääpiirteittäin. Tuotteistusprosessi on asiakkaiden toiveista, tarpeista ja odotuksista johdettu työprosessi. Tuotteistusprosessi etenee ensin tuoteaihiosta (mekaniikkakuvat, piirikaaviot, laskenta) kohderyhmän (suunnittelu,



valmistus, myynti, asiakas) määrittämiseen ja edelleen tarveperustojen ja odotusten laatimiseen (tuotteistettu paketti myyjille, suunnittelijoille, valmistukselle). Sitten siirrytään tuotteen sisällölliseen rakentamiseen, tuotteen hintaperustojen määrittämiseen ja hintapäätösten tekemiseen. Lopuksi tuotteesta tehdään markkinoinnillinen kuvaus, jossa esitellään ne asiat joihin asiakkaiden halutaan kiinnittävän huomiota. Tässä vaiheessa on tärkeää, ettei yritys jää kaappaamaan työtä, vaan myy nimenomaan osaamistaan. (Rope 2005:218)



**Kuva 21.** Tuotteistusprosessin pääpiirteet. (Rope 2005:218)

Paperikoneiden linjakäyttöratkaisujen (VEO) tuotteistaminen on tämän diplomityön pääasia. Siihen kuuluu oleellisena osana kohderyhmän tai kohderyhmien määrittäminen. VEO:lla kohderyhmiä ovat suunnittelu, valmistus ja myynti. Lisäksi yksi kohderyhmä on luonnollisesti asiakas. Tuotteistaminen nopeuttaa suunnitteluprosessia, koska valmiita suunnittelupohjia on olemassa ja ne ovat helposti löydettävissä. Kaikkea suunnittelu-työtä ei tarvitse aina aloittaa alusta eli niin sanotusti tyhjältä pöydältä. Valmiit tuotteis-

tetut paketit helpottavat myyntityötä, koska niiden avulla tiedetään tarkemmin mitä myydään ja mikä on myytävän kokonaisuuden hinta. Tarveperustojen ja toiveiden määrittämisessä otetaan huomioon myyjien, suunnittelijoiden ja valmistajien tarpeet. Tuotteistetut paketit helpottavat ja nopeuttavat näiden ryhmien toimintaa.

Tuotteistaminen voidaan määritellä usealla eri tavalla. Sitä voidaan sanoa organisaation, työyksikön tuottamien ja asiakkaiden saamien palvelujen (tuotekokonaisuuksien) määrittelyksi. Näitä tuotekokonaisuuksia voidaan myös tarkentaa ja niihin voidaan lisätä uusia yksityiskohtia tuotteistamalla. Tuotteen tai tuotekokonaisuuden kehittäjä on asiakkaan kanssa vuorovaikutuksessa, jolloin tuotepaketista kehittyy mahdollisimman hyvä. Ilman tätä vuorovaikutusta ei ole mahdollista kehittää asiakkaan tarpeita vastaavaa tuotetta. Vuorovaikutuksen ansiosta yritys voi kehittää tuotettaan oikeaan suuntaan tarkasti ja kustannustehokkaasti. Tuotteistamalla ei synny pelkästään tuotteita, vaan myös palvelutoiminta voi olla tuotteistettua.

Tuotteistaminen tarkoittaa palvelun tai hyödykkeen ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen määrittelyä. Tuotteistamisen tarkoituksena voi olla myös jo voimassa olevan palvelun tai hyödykkeen paketoiminen siten, että sen sisältö, hinta ja käyttöehdot määritellään.

Tuotteistamisen alussa on olemassa jokin hahmotelma tai prototyyppi, josta halutaan muodostaa ja jalostaa tuote. Yrityksellä saattaa olla vakioituja ratkaisuja, joiden koostamiseen ja yhtenäistämiseen tarvitaan tuotteistamista. Tuotteistaminen voi olla myös tällaisten vakioitujen ratkaisujen linkittämistä esimerkiksi johonkin laskentatyökaluun. Calctool on yksi tällainen laskentatyökalu. Vakioidut ratkaisut voivat olla sähköisiä käyttösovelluksia, jotka sisältävät piirikaavioita. VEO:n käytössä oleva Calctool on laskentatyökalu, jonka avulla voidaan laskea tuotteistetun tuotteen kokonaishinta. Calctool-laskentatyökalun lisäksi VEO käyttää Excel-pohjaisia laskentatyökaluja. Nämä Excel-pohjaiset laskentatyökalut laskevat puhtaasti tuotteen valmistamiseen liittyviä kustannuksia (komponenttien hinnat). Excel-pohjaisen laskentatyökalun antamat tulokset siirretään Calctooliin, jossa laskelmaan lisätään muut kuin VEO:n tuotteen kulut. Calc-

tool ei ota kantaa komponenttien hintoihin. Se ottaa huomioon muun muassa rahoituskulut ja valuuttakulut.

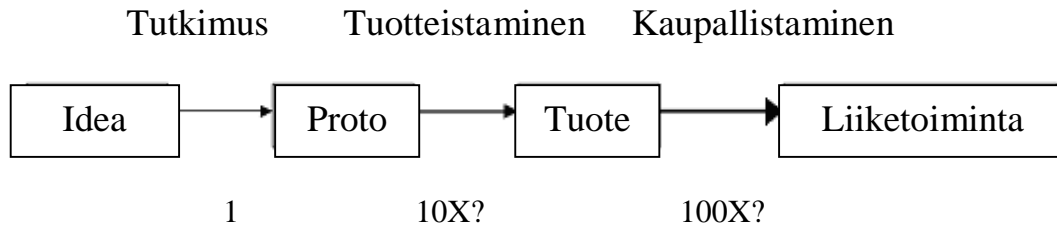
Tuotteistuksella pyritään määrittelemään palvelun sisältö eli se mitä asioita palvelu kattaa. Näihin asioihin kuuluu edut, palvelun kohde ja toteutustapa, ajankohta ja ehdot. Tuotteistamisella pyritään myös luomaan rutiineja ja määrittelemään palvelun markkinointi, toimitus-, tuotanto- ja hallintoprosessit. Tuotteistusta tehdään toimivan toimitus- ja tuotantojärjestelmän luomiseksi. Tähän aihealueeseen kuuluvat prosessit, johtaminen, henkilöt, ohjeet, käytettävät välineet ja menetelmät, käytettävät dokumentit, markkinointijärjestelmä ja aineellisten tarvikkeiden hallinta. (Rope 2005:219-220)

Varsinaisesta tuotteistuksesta on kyse silloin kun palveluista kehitetään selkeitä palvelukokonaisuuksia tai -prosesseja, joita tarjotaan sellaisenaan asiakkaalle. Tuotteistus on myös perusmallien räätälöintiä moduulien avulla, jolloin voidaan muodostaa asiakaskohtaisia versioita. Halutessa tällaisen tuotteen omistus- tai käyttöoikeus voidaan myydä edelleen.

Tuotteistuksen tavoitteena on siis saada markkinoille kilpailukykyinen tuote, tyydyttää asiakkaan tarpeet, saada arvio tuotteen laadusta sekä hintatasosta, sekä tuotteistuksen edelleen kehittäminen. (Rope 2005:219-220)

#### 4.2. Ohjelmistoja koskeva tuotteistaminen

Ohjelmiston tuotteistamiseen kuuluvat olennaisesti kuvan 22 esittämät käsitteet ja toiminnot. Tärkeimmät käsitteet koskien ohjelmistotuotteen tuotteistamista ovat idea, prototyyppi, tuote ja liiketoiminta. Alussa on olemassa idea, josta kehitetään tutkimuksen avulla prototyyppi. Prototyyppi tarkoittaa ensimmäistä, alkuperäistä versiota (ensimmäinen testiversio) jostakin tuotteesta, ja se liittyy teollisuuden tuotekehitystoimintaan. Prototyypistä jalostetaan tuotteistamisen avulla tuote, jota voidaan markkinoida ja myydä. Tämän jälkeen tuote kaupallistetaan, jolloin se on valmis liiketoimintaa varten. Kaupallistaminen on ideoiden taloudellista hyödyntämistä.



**Kuva 22.** Tuotteistamisen rooli ohjelmistotuotannossa. (Hyvönen 2001)

Ohjelmistoa tuotteistettaessa täytyy ottaa huomioon maapallon eri alueiden (maiden) kielet, standardit ja käytännöt. Toiminta ja käyttötavat voivat olla erilaisia eri maissa. Esimerkiksi kielet ja merkistöt eroavat toisistaan eri alueilla eli kirjainmerkinnät ja tekstin pituudet ovat eri maissa erilaisia. Myös kirjoitusasuunat voivat poiketa toisistaan eri kielissä. Nämä edellä mainitut asiat ovat yhteisiä lokalisoinnille, eli tuotteen ja tekstin sovittamiselle paikallisten käytäntöjen ja vaatimusten mukaisiksi. Lokalisointi liittyy siis prototyypin ja tuotteen väliseen tuotteistamiseen. Prototyyppi on raakile, mutta yleensä sen kehittäjät ovat asiasta eri mieltä. Tuotetta voidaan kuvata loputtomaksi sarjaksi yhä parempia versioita.

Kaupallistamisen tarkoitus on myydä valmista tai lähes valmista tuotetta. Kaupallistamisen avulla tuotteistettu tuote saadaan muutettua osaksi yrityksen liiketoimintaa. Kun tuote on teknisesti riittävällä tasolla, se voidaan tuotteistaa ja kaupallistaa. Markkinoiden tutkiminen ja analysointi ovat kaupallistamista. On tärkeää selvittää, onko tuotteelle olemassa markkinoita ja mikä on markkinoilla vallitseva kilpailutilanne. Vaikka tuote olisi hyvä, kannattaa selvittää, onko jokin suurempi yritys aloittamassa samantapaisen tuotteen myyntiä. Liian myöhään markkinoille tuleva tuote ei ole kannattava. (Hyvönen 2001)

#### 4.3. Asiantuntijapalvelujen tuotteistaminen

VEO:lla asiakkaalle tarjottava palvelu voidaan määritellä siten, että luodaan valmiita paketteja, jotka kuvaavat asiakkaalle myytäviä kokonaisuuksia. Nämä paketit sisältävät mekaanisia malleja, sähköisiä malleja, tuotteiden ja kokonaisuuksien hintoja ja kuvauksia palvelun sisällöstä. VEO:n tuotteistettuja paketteja voidaan sanoa tuotepuitteiksi, jotka kuitenkin sisältävät keskeisen ydinasisällön. Näiden pakettien avulla on helppo esittää asiakkaille kokonaisuudet, joita VEO:lla on tarjota.

Tarjolla olevan palvelun määrittely ja tuotteen tai tuotteiden suunnittelu, kehittäminen ja tarkempi kuvaaminen kuuluvat olennaisina osina asiantuntijapalvelujen tuotteistamiseen. Edellä mainituilla toimenpiteillä saavutetaan maksimaalinen tuotto yritykselle, sekä paras mahdollinen hyöty kohteena olevalle asiakkaalle. Tuotteistaminen asiantuntijapalveluiden kohdalla keskittyy kokonaisuuksien ja tuoteraamien luomiseen, sekä osakokonaisuuksien koostamiseen. (Sipilä 1995:12-47)

Räätälöinnin mahdollistuminen on yksi tuotteistamisesta aiheutuva etu, joka jouduttaa työprosesseja ja vähentää niihin kuluva aikaa. Räätälöintiä tarvitaan silloin kun asiakas ostaa VEO:lta valmiina olevan tuotekokonaisuuden (paketin), mutta tarvitsee siihen jonkin kokonaan uuden osion. Tämä uusi osio suunnitellaan asiakkaan toiveiden mukaisesti ja liitetään osaksi jo olemassa olevaa tuotekokonaisuutta. Tällöin jo valmiina oleva tuotteistettu ratkaisu on räätälöity. Tällaiselle räätälöinnille jää huomattavasti vähemmän aikaa, jos tuote suunnitellaan jokaisen asiakkaan kohdalla aina alusta alkaen. Räätälöinti tarkoittaa siis pienen osan vaihtamista suureen kokonaisuuteen.

Nuoremmat asiantuntijat hyötyvät vanhempien asiantuntijoiden tiedoista, taidoista ja kokemuksista. Tuotteistettujen kokonaisuuksien avulla tieto siirtyy helpommin kokeneilta asiantuntijoilta ja työntekijöiltä nuoremmille, uusille työntekijöille. Koska tuotteistettu tuote on helppo esittää asiakkaalle ymmärrettävästi, se on helppo esittää myös yrityksen uusille työntekijöille. Tuotteistaminen mahdollistaa ja nopeuttaa tiedon siirtymistä eteenpäin, oli sitten kyseessä asiakas tai yrityksen sisällä oleva työntekijä. (Oinonen 2002:32)

Tuotteistaminen selkeyttää ja eheyttää myytävän tuotteen sisältöä. Asiakas näkee heti, millainen on myytävän tuotteen sisältö. Myytävistä tuotekokonaisuuksista valitaan ensin asiakkaan tarvetta vastaava malli, joka voidaan tietyiltä osilta vielä muokata räätälöinnillä täydelliseksi. Tuotteistaminen siis helpottaa ostopäätöksen tekemistä. Tuotteen sisältö ja hinnat ovat heti asiakkaalle selviä. Tuotteistettu tuote sisältää myös tuotteen maksuehdot ja maksamiseen kuluvan ajan (Calctool). Tuotteistus on helppo ja nopea tapa esittää asiakkaalle tarjolla oleva kokonaisuus. Kun tämä tietty kokonaisuus on myyty, ei esimerkiksi suunnittelua tarvitse aloittaa kokonaan alusta, vaan valmis pohja ratkaisulle on jo olemassa.

Asiantuntijapalvelujen tuotteistaminen mahdollistaa kiinteän hinnoittelun tuotekokonaisuuksien kohdalla. Lisäksi se lisää hinnoittelumahdollisuuksia, koska voidaan ottaa huomioon asiantuntijan todellinen työmäärä. Aiemmin palveluista on veloitettu vain työtuntien mukaa, mutta asiantuntijan todellinen työmäärä on voinut olla paljon suurempi. (Sipilä 1995:20-21) Todellisuudessa hinnoittelun perusteena pitäisi olla työntekijän tehokkuus, eikä se, kuinka monta työtuntia hän tekee. Työntekijän saavuttamat tulokset ovat tärkeämpi perusta palkanmaksulle, kuin se, kuinka monta tuntia hän on työpaikalla.

Asiantuntijapalvelujen tuotteistamisen avulla voidaan myydä työntekijän osaamista, joka perustuu asiakkaan kokemaan hyötyyn. Jos myydään pelkkää työsuoritusta, veloitusta tehdään pelkästään työtunteihin perustuen. Asiakkaan kokemaan hyötyyn perustuva laskutus on monissa tapauksissa työtunteihin perustuvaa laskutusta parempi tapa määritellä työn arvoa. (Rope 2000:219)

Sähkötekniisten komponenttien vakiointi on samalla koko tuotteen sisällön toiminnallista määrittelyä. Tätä komponenttien vakiointia ja tuotteen sisällön toiminnallista määrittelyä voidaan pitää tuotteistamisena. Tuotteille on olemassa omat vakiointiasteensa, joiden mukaan ne voidaan luokitella neljään eri ryhmään. Uniikin eli vakioimattoman tuotteen vakiointiaste on 0 - 10 %. Räätälöidyn tuotteen vakiointiaste on 10 - 50 %. Sovelletun tuotteen vakiointiaste on 50 - 90 % ja pakettituotteen vakiointiaste 90 - 100 %. Sovelletun tuotteen keskeinen sisältö voidaan aina kertoa asiakkaalle. Sisällön kertominen

on mahdollista myös silloin, kun lopullinen ratkaisu sovelletaan asiakaskohtaisesti. (Rope 2000:215-216)

Nämä tuotteistamiseen liittyvät vakiointiasteiden prosenttiluvut ovat vain suuntaa antavia. VEO voi esitellä asiakkaalleen piirikaaviomallin paperikoneen linjakäyttöratkaisusta, joka vastaa lähes asiakkaan tarpeita. Piirikaaviomalli voi pääraameiltaan olla täysin asiakkaan tarpeita vastaava, mutta se voi vaatia vielä komponenttimuutoksia. Jos tässä linjakäyttöratkaisun piirikaaviossa vakiointiaste on noin 50 - 90 %, voidaan puhua tuotteistetusta tuotteesta. Tällainen tuotteistettu tuote voidaan jo esittää asiakkaalle toimivana ratkaisuna, ja pienillä muutoksilla siitä saadaan täysin asiakkaan tarpeita vastaava kokonaisuus. Vakiointiasteet ja vakiointi yleensä ovat siis merkittävä osa tuotteistamista. Vakiointi on tuotteistamisen perusta.

#### 4.4. Tuotteistamista vaikeuttavat tekijät

Tuotteistamiseen siirryttäessä suurin työ on siirtymävaiheessa, eli silloin kun tuotteistamista ei ole aiemmin yrityksessä tehty ja aloitetaan niin sanotusti puhtaalta pöydältä. Myöhemmin tuotteistus helpottuu, kun se otetaan huomioon jo tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa. Kun tuotteistus otetaan huomioon jo alkuvaiheessa, tiedetään heti, mihin pakettiin kukin osa kuuluu. Tuotekehityksen alussa on myös helppo käyttää jo voimassa olevia piirikaavioita. VEO:lla tuotteistamisen haasteena on juuri tämä valmiiden piirikaaviopohjien hyväksikäyttäminen. Valmiiden pohjien käyttäminen säästää aikaa ja rahaa. VEO:n omistuksessa on paljon vakioituja ratkaisuja, joiden koostaminen on haasteellista niiden suuren lukumäärän takia. Linjakäyttöratkaisujen tulee olla järjestetty siten, että ne löytyvät helposti asiakkaan mukaan. Tietyille asiakkaille (ABB, Siemens, Vacon) tulee olla tietyn malliset ratkaisut. Näitä ratkaisuja (pohjia) on helppo muokata asiakkaiden toiveiden mukaisesti. Myös tuotteiden hinnoittelu on yksi tuotteistamisen haasteista. VEO:lla on käytössä tuotteiden hinnoitteluun erilaisia laskentatyökaluja (Excel, Calctool).

Tuotteistamisen haasteita voivat olla muun muassa asiantuntijan käyttäytyminen, tuotokeskeisyys ja tuotteistamisesta aiheutuvat kustannukset. Asiantuntija voi pitää osaamistaan ja tietojaan niin arvokkaina ja tärkeinä, että ei halua antaa niitä osaksi tuotteistamisprosessia. Tämä pätee erityisesti asiantuntijapalvelujen kohdalla. Tuotokeskeisyys saattaa olla myös tuotteistamisen arvoa alentava tekijä. Tuotokeskeisyydellä tarkoitetaan sitä, että keskitytään liian paljon myymään tuotteistettua pakettia. Samalla unohdetaan keskittyä tarkemmin asiakkaan todellisiin tarpeisiin. (Sipilä 1999b:118-119) VEO:n kohdalla tällaista vaaraa ei ole, koska ratkaisut käydään läpi asiakkaan kanssa ennen kauppvoja. Asiakas hyväksyy malliratkaisut ja suunnitelmiin lisätään tai vaihdetaan asiakkaan tarvitsemat muutokset. Asiakas saa siis juuri sellaisen paketin kuin tarvitsee.

Tuotteistettaessa tuotetta täytyy kehittää tarpeeksi asiakkaiden tarpeita huomioiden. Tällä tavalla tuotteistuksesta ei aiheudu ylimääräisiä kustannuksia. Tuotteistamiseen kuluu ylimääräistä rahaa ja aikaa, jos tuote ei miellytä asiakasta. Myös se mahdollisuus on, että asiakkaan tarpeet on tulkittu väärin. Tämän vuoksi tuotteistuksen alussa täytyy tarkasti neuvotella asiakkaiden kanssa heidän tarpeistaan. Tuotteistuksen tulisi yleensä olla osa yrityksen normaalia toimintaa, jolloin siitä ei aiheudu ylimääräisiä kustannuksia ja se on tehokasta. Tuotteistamisen alkuvaiheessa tämä on vaikeaa, mutta järjestelmän kehittyessä tuotteistuksen hyödyt tulevat esille.



## 5. LINJAKÄYTTÖRATKAISUJEN VAKIOINTI

Tässä luvussa käsitellään VEO:n linjakäyttöratkaisuihin liittyviä malleja. Mekaanisten mallien ja rakenteiden lisäksi perehdytään sähköisiin piirikaaviomalleihin (OEM-käyttösovellukset). Kappaleessa 5.1 käydään läpi sekä mekaanisia että sähköisiä malleja, jotka VEO on vakioinut, mutta joita ei ole vielä tähän mennessä tuotteistettu.

Kappale 5.2 sisältää käyttöprojektien laskentatyökalujen läpikäyntiä. Nämä laskentatyökalut ovat Excel-pohjaisia, jo vakioituja ratkaisuja, joiden tuotteistaminen vielä puuttuu. Excel-pohjat sisältävät kojeistoihin liittyvien komponenttien hintojen laskentaa. Tähän komponenttien laskentaan sisältyviä osia ovat muun muassa kojekentät, kaapelikentät, kokoojakiskostot, optiot, kytkinvarokelähdöt, taajuusmuuttajalähdöt (Vacon), taajuusmuuttajien syöttökentät, kytkimet, katkaisijat ja katkaisijoiden apulaitteet. Laskentatyökalun tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa kojeistojen kokonaishintojen laskentaa. Työkalussa tapahtuvan laskennan tuloksena saadaan selville materiaalin hinta, materiaalityyppien osuus, asennusaika, syöttökenttien hinta ja yhden syöttökentän valmistukseen kuluva aika.

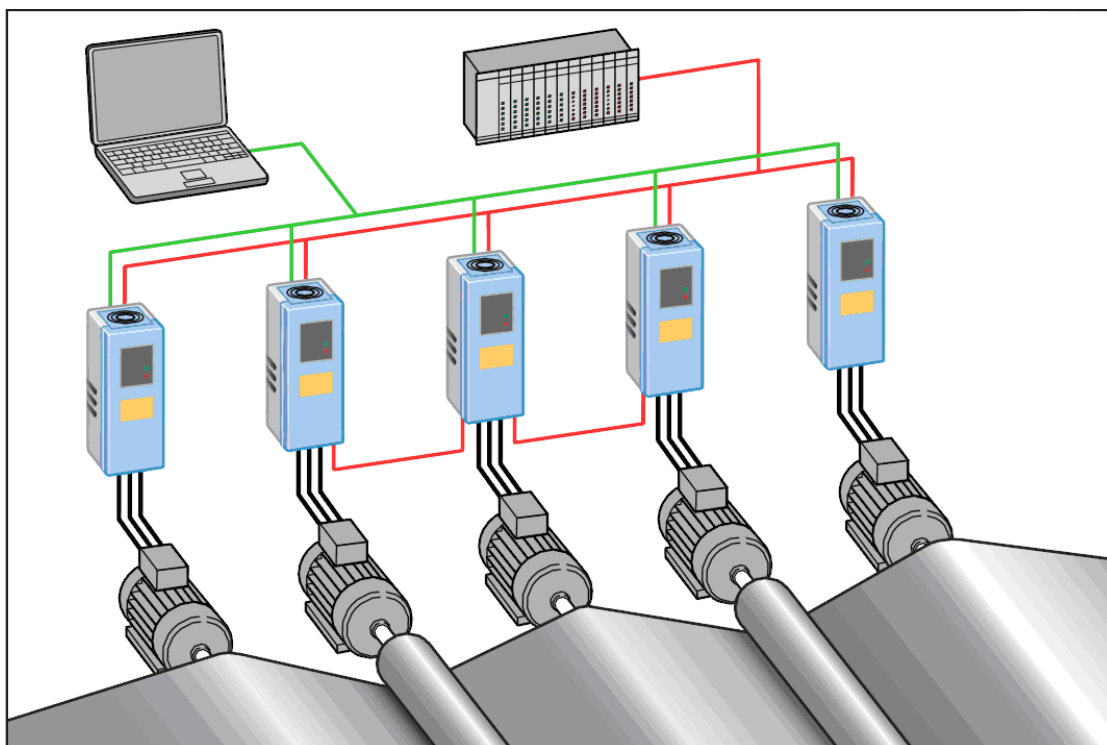
Työn keskeiset tulokset sisältyvät kappaleeseen 5.3. Kappale sisältää pohdintaa ja analyysia siitä mitä työssä tehtiin ja miksi. VEO:n vakioituista ratkaisuksista parhaimmat otetaan käyttöön eli tuotteistetaan. Tuloksia käsitellään tässä diplomityössä yleisellä tasolla.

### 5.1. Linjakäyttöihin liittyvät ratkaisut

Vaasa Engineering Oy on vakioinut Vaconin, Siemensin ja ABB:n OEM-käyttösovelluksia. Nämä käyttösovellukset ovat vain vakiointiasteella eli niitä ei ole tuotteistettu. Vaconin vakioituihin sovelluksiin kuuluvat taajuusmuuttajat (NXP, NXS, NXL) ja linjakäytöt (NXP). Linjakäyttö S120 on Siemensin käyttösovellus, jonka VEO on vakioinut ABB:n ACS800 -ratkaisun lisäksi. (Sjöblom 2011)

Sähkömoottoreiden tarkka ja dynaaminen säätö on tärkeää, kun halutaan saavuttaa koneelle tai prosessille hyvä laatu ja luotettavuus. Vacon NXP on taajuusmuuttajamalli, jolla on mahdollista ohjata vakio-oikosulkumoottoreita ja kestopagneettimoottoreita niin open- kuin closed loop säädettynä. Open-loop control tarkoittaa avoimen piirin säätöä eli ohjausta. Avoimen piirin säädössä tiedetään kuinka systeemi reagoi tulossignaaliin. Häiriöiden vaikutuksia ei voida kompensoida. Mittaus ei siis vaikuta ohjaukseen, vaan se tapahtuu ennalta määrätysti. Closed loop control tarkoittaa takaisinkytkettyä säätöpiiriä, jossa mittaus on takaisinkytketty niin että ohjaus muuttuu sen mukana.

Kuvassa 23 on viisi NXP-taajuusmuuttajaa vaativassa automaatiokäyttökohteessa (paperikoneen pääkäyttö). Nopea monen käytön valvonta suoritetaan NCDrivella. Taajuusmuuttajat ovat yhteydessä toisiinsa sekä ohjausjärjestelmään. NCDrive on Vacon NX:n käyttöönotto- ja monitorointityökalu. Sen avulla voi lukea ja ladata parametreja taajuusmuuttajan ja tietokoneen välillä. Parametreja voidaan myös verrata, tallentaa ja tulostaa. Käytössä olevan sovelluksen muuttaminen on mahdollista, kuten myös taajuusmuuttajien ohjaaminen ja ohjearvojen muuttaminen.



**Kuva 23.** NXP-taajuusmuuttajat paperikonekäytössä. (Vacon 2011)

Siemens Sinamics S120 on käytössä monissa eri teollisuuden käyttöissä. Erityisen hyvin se sopii moniakselisiin sovelluksiin. S120:n avulla on mahdollista toteuttaa servo- ja vektorikytkentöjä. Laitteiston komponentit kommunikoivat keskenään DriveCLiQ- toiminnon avulla. Sinamics S120-sarja voi sisältää yhden akselin erilliskäytön tai kompaktin usean akselin pakettiratkaisun. Yhden akselin erilliskäytöissä tehot ovat 0,12 kW - 90 kW ja usean akselin pakettiratkaisussa 1,6 kW - 107 kW. Suurimmilla tehoalueilla ratkaisuihin käytetään erillisiä asennusyksiköitä tai valmiita käyttöjeistoratkaisuja. Suurimmat tehoalueet käsittävät tehon aina 4,5 MW asti. S120-sarjan tuotteissa on vakiona sisäänrakennetut servo-ohjaus (servokäyttö) ja paikoitustoiminnot. (Siemens 2011)

VEO:n vakioiduissa ratkaisuissa käytetään Vaconin inverttereitä, joiden frame-koot (kehyskoot) ovat sidoksissa inverttereiden fyysiseen kokoon ja syöttötehoon. Fyysinen koko kasvaa invertterin syöttötehon lisääntyessä. Kehysmallin numeron kasvaessa myös fyysinen koko ja syöttöteho kasvavat. Kuvassa 24 on esitetty eri kokoluokkien Vacon-inverttereitä tunnuksineen (FR4-FR8, FI9-FI13).



**Kuva 24.** Eri kokoluokkien ja teholuokkien inverttereitä. (Vacon 2010)

Syöttöjännitteen ollessa 380-500 VAC kehyskoko, virtojen suuruudet ja moottoritehot muuttuvat inverttereissä taulukon 5 mukaisesti.

**Taulukko 5.** Vaconin invertterien kehyskoot ja virta-alueet. Lisäksi tehot, joiden perusteella valitaan moottoria syöttävä invertteri. (Vacon 2010)

Kehyskoko	Virta (A)	Moottorin teho (kW)
FR4	4,3-12	1,5-5,5
FR6	16-46	7,5-22
FR7	61-105	30-55
FR8	140	75
FI9	170-300	90-160
FI10	385-520	200-250
FI12	590-1030	315-560
FI13	1150-1450	710-800
FI14	1770-2700	1000-1500

Kun AC-syöttöjännite on 525 - 690 V, invertterissä kulkeva virta vaihtelee taulukon 6 mukaisesti. Taulukkoon 6 on merkitty kehyskoot, niitä vastaavat virrat ja moottorien tehot. Tietyn tyyppinen (kokoluokka) invertteri on tarkoitettu syöttämään tietyn tehoalueen sähkömoottoria. Tehoalueen ja virtojen kasvaessa invertterin tyyppin tunnus muuttuu (FR→FI) ja tunnuksen järjestysnumero kasvaa.

**Taulukko 6.** Virtaluokitukset eri invertteriyksiköille kun AC-syöttöjännite on 525 - 690 V. (Vacon 2010)

Kehyskoko	Virta (A)	Moottorin teho (kW)
FR6	4,5-34	3,0-30
FR7	41-52	41-52
FR8	62-100	55-90
FI9	125-208	110-200
FI10	261-416	250-400
FI12	460-820	450-800
FI13	920-1180	900-1150
FI14	1500-2250	1500-2000

Suuremmilla AC-syöttöjännitteillä (525 - 690 V) kehyskoko FR4 puuttuu. Tämä johtuu suuremmista virroista ja kasvaneesta moottoritehosta. Pienemmillä ACsyöttöjännitteillä (380 - 500 V) virta voi olla maksimissaan 2700 A (FI14). Vastaavasti suuremman syöt-

töjännitteen (525 - 690 V) ollessa kyseessä virta voi olla maksimissaan 2250 A (FI14). Moottorin teho voi olla pienillä syöttöjännitteillä 1,5 - 1500 kW ja suurilla syöttöjännitteillä 3,0 - 2000 kW. Kehyskokoa kasvattaa joko yksittäisen laitteen fyysisen koon kasvaminen tai sitten yhdistelmien luominen samankokoisista inverttereistä. Näistä samankokoisten laitteiden yhdistelmistä esimerkkejä ovat muiden muassa FI12 ja FI13. Laitteet ovat sekä kooltaan että sisällöltään (sähköinen rakenne, piirikaaviot) samankaltaisia.

#### 5.1.1. Linjakäyttöihin liittyvät mekaaniset rakenteet

Kojeistolla tarkoitetaan rakennekokonaisuutta, jossa on kytkin-, suoja-, ohjaus- ja valvontalaitteita. Näitä laitteita tarvitaan sähköön tuottamisessa, siirrossa ja muuntamisessa.

Kojeistot ryhmitellään ulkokuoren materiaalin perusteella metallikuorisiin (metal-enclosed) ja eristysainekuorisiin (insulation-enclosed) kojeistoihin. Suurin osa jakelukojeistoista on metallikuorisia. Metallikuoriset kojeistot jaetaan kojeistojen sisäisen osastoinnin ja osastoinnissa käytetyn materiaalin perusteella kolmeen eri tyyppiin. Näitä tyyppejä ovat metallikoteloitu kojeisto (metal-clad), tilakoteloitu kojeisto (compartmented) ja kennokoteloitu kojeisto (cubicle). Metallikoteloidussa kojeistossa kokoojakiskosto, katkaisija ja lähdön kojeet ovat omissa tiloissaan ja tilojen välinen osastointi on maadoitettua metallia.

Tilakoteloidussa kojeistossa kokoojakiskosto, katkaisija ja lähdön kojeet ovat myös omissa tiloissaan ja tilojen välinen osastointi on kokonaan tai osittain eristeainetta. Kennokoteloiduiksi kojeistomalleiksi luokitellaan kaikki mallit, jotka eivät kuulu metallikuorisiin tai tilakoteloituihin kojeistoihin. Kojeston pääasiallisena eristeaineena voi toimia ilma, jolloin kojeistoa kutsutaan ilmaeristeiseksi kojeistoksi. Käytettäessä eristysaineena eristyskaasua, joka on eri paineessa kuin normaali ilmanpaine, käytetään kojeistosta nimitystä kaasueristeinen kojeisto.

Kojeistot voidaan ryhmitellä myös kalustustavan perusteella. Vaunukojeisto on varustettu ulosvedettävillä (withdrawable) kojeilla. Vaunukojeistoissa kennon kytkinlaite on sijoitettu liikuteltavaan vaunuun, jota siirtämällä saadaan virtapiiriin luotettava avausväli. Erottimen asennon on oltava todettavissa. Tämä vaatimus voidaan täyttää, kun erotusväli tai vaunun asento on nähtävissä. Erottimen asento voidaan ilmaista myös luotettavalla asennonosoituksella. Vaunukojeistoja esiintyy kaikkina kojeistotyypeinä.

Jotkut kojeistot ovat niin sanotusti kiinteästi kalustettuja. Niissä kojeet kuten katkaisijat, kuormaerottimet ja mittamuuntajat on asennettu kiinteästi kennorakenteisiin ja kiskostoihin. Nämä kojeistotyytit ovat usein rakenteeltaan kennokoteloituja kojeistoja. (ABB Oy 2000:21-22)

Standardit (DIN, IEC, EN) määrittävät mitat kiskoille, joita käytetään sähkökeskuksissa ja kojeissa. Standardoinnin ansiosta kiskot ja kiskostot ovat laaja-alaisesti käytössä ja useat komponentit tehdään niihin sopiviksi. Standardoinnin ansiosta useimpia sähköisiä komponentteja on helppo liittää kiskoihin. VEO:n käyttämien kiskostojen kohdalla puhutaan DIN-kiskoista, mikä on saanut nimensä samannimisestä standardista. Alun perin on ollut olemassa vain DIN-standardi, mutta nykyään sama laatustandardi löytyy myös IEC- ja EN-standardeista.

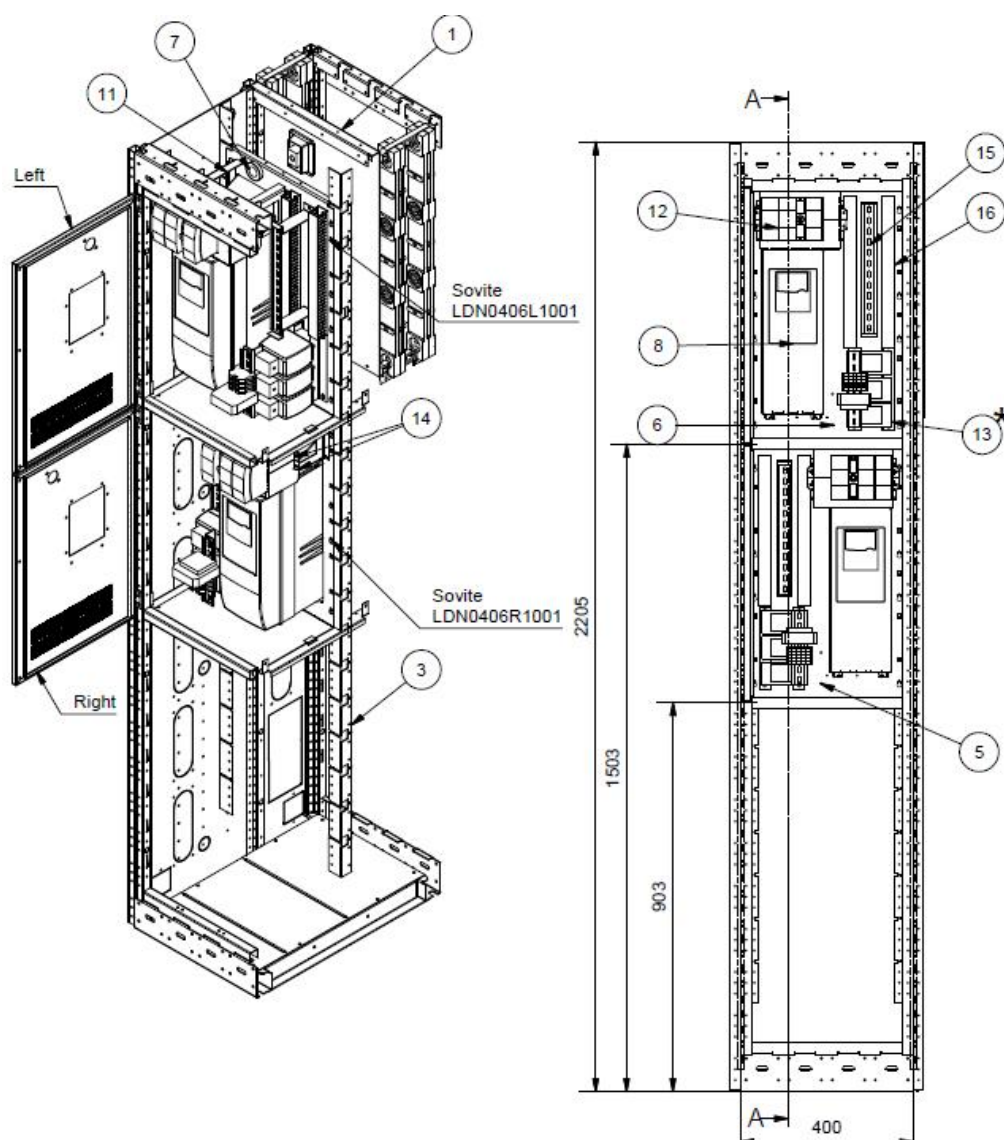
VEO:n linjakäyttöratkaisujen mekaaniset rakenteet muuttuvat taajuusmuuttajan koon mukaan. Mekaanisten rakenteiden koko siis kasvaa, kun taajuusmuuttajan koko kasvaa. Tämä on ainut seikka, joka selittää erikokoiset mekaaniset rakenteet linjakäyttöratkaisussa. Tämän kappaleen kojeistoratkaisut ovat kaikki ilmajäähdytteisiä. Taajuusmuuttajat voivat olla myös vesijäähdytteisiä. Näissä molemmissa malleissa sähköinen tekniikka (piirikaaviot) ja ohjaus (NXP) ovat samanlaisia. Samat sähköiset piirikaaviomallit ja ohjausmenetelmät käyvät sekä ilma- että vesijäähdytteisille taajuusmuuttajille. Mekaaninen puoli sen sijaan eroaa toisistaan ilma- ja vesijäähdytteisissä kojeistoratkaisussa.

Ilmajäähdytteinen ratkaisu vaatii huomattavasti suuremman tilan kuin vesijäähdytteinen ratkaisu. Tämä johtuu siitä että ilmajäähdytteiset mallit tarvitsevat suurikokoisen elementin jäähdytystä varten. Jäähdytyslementin koko vaihtelee kojeiston koon mukaan.

Jäähdytysteho on yleensä noin 2 % kojeiston kokonaistehosta. Kun kokonaisteho on 620 W, jäähdytysteho on 12,4 W. Vesijäähdytteinen ratkaisu sopii hyvin vaikeisiin käyttökohteisiin, kuten laivoihin, koska jäähdytysteho voidaan johtaa vesiputkia pitkin kauemmas kojeistosta. Jäähdytysteho voidaan siis johtaa käytännössä mihin tahansa. Ilmajäähdytteisessä ratkaisussa fyysinen jäähdytyslementti täytyy olla kojeiston välittömässä läheisyydessä. Sen takia myös jäähdytysteho vapautuu kojeiston välittömään läheisyyteen.

Kuvassa 25 on esitetty VEO:n käyttökojeiston (frame 4) perusasennus ja mekaaninen rakenne. Rakenteeseen kuuluvat muun muassa pystylevy (1, vertical plate), kiskotuki (3, partition plate fixing rail), asennusalusta (5, mounting plate), kaapelin läpivienti (7, cable grommet), korotusalusta (11, raising plate), kosketussuoja (14, protection cover), DIN-kisko (15) ja kaapelikouru (16). Kuvan rakenteeseen merkityt sähköiset osat ovat taajuusmuuttaja (8), kytkinvaroke (12) ja  $du/dt$  -suodatin (13). Frame-koko 4 on fyysiseltä kooltaan pienin mekaaninen ratkaisu.

Kuvan 25 ratkaisu on ilmajäähdytteinen ja siinä käytetään Vaconin taajuusmuuttajia. Kojestomalli on pyritty saamaan aikaisempaa pienempään kokoon, jotta keskusten kokonaisleveys on mahdollisimman pieni. Kojeastosta on olemassa 400 mm ja 600 mm leveät versiot. VEO:n mekaanisissa piirustuksissa käytetään lajimerkkiä jokaiselle eri kokoonpanolle. Kuvan 25 ratkaisun lajimerkki on LDN0400M1002.

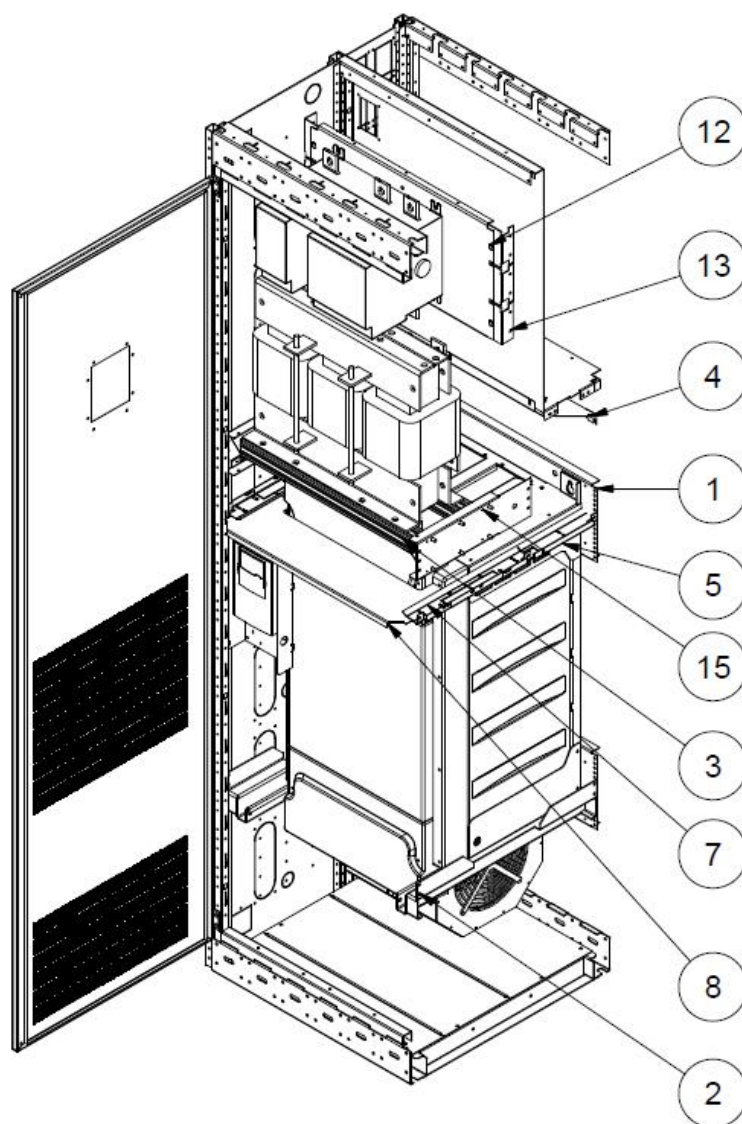


**Kuva 25.** Kojestoratkaisun (frame 4) mekaaninen rakenne. (VEO 2010)

VEO:n käyttämissä malleissa (frame 4-11) on samanlainen piirikaavio. Nämä mallit sisältävät yhden etukojeen ja yhden taajuusmuuttajan. VEO:n frame 12 on esimerkki kahden samanlaisen piirikaavio yhdistämisestä. Sen piirikaavio koostuu kahdesta yhteen liitetystä frame 10- mallista (kuva 26). Eli frame 12 piirikaaviossa on kaksi frame 10 mallia vierekkäin. Sen piirikaaviossa on näkyvissä kaksi erillistä taajuusmuuttajaa. Näistä molemmilla on oma erillinen lähtöliitin. Toinen esimerkki piirikaavioiden yhdistämisestä VEO:lla ovat frame 13 ja 14. FR13 on yksi laite ja FR14 sisältää kaksi kappaletta frame 13- mallia.



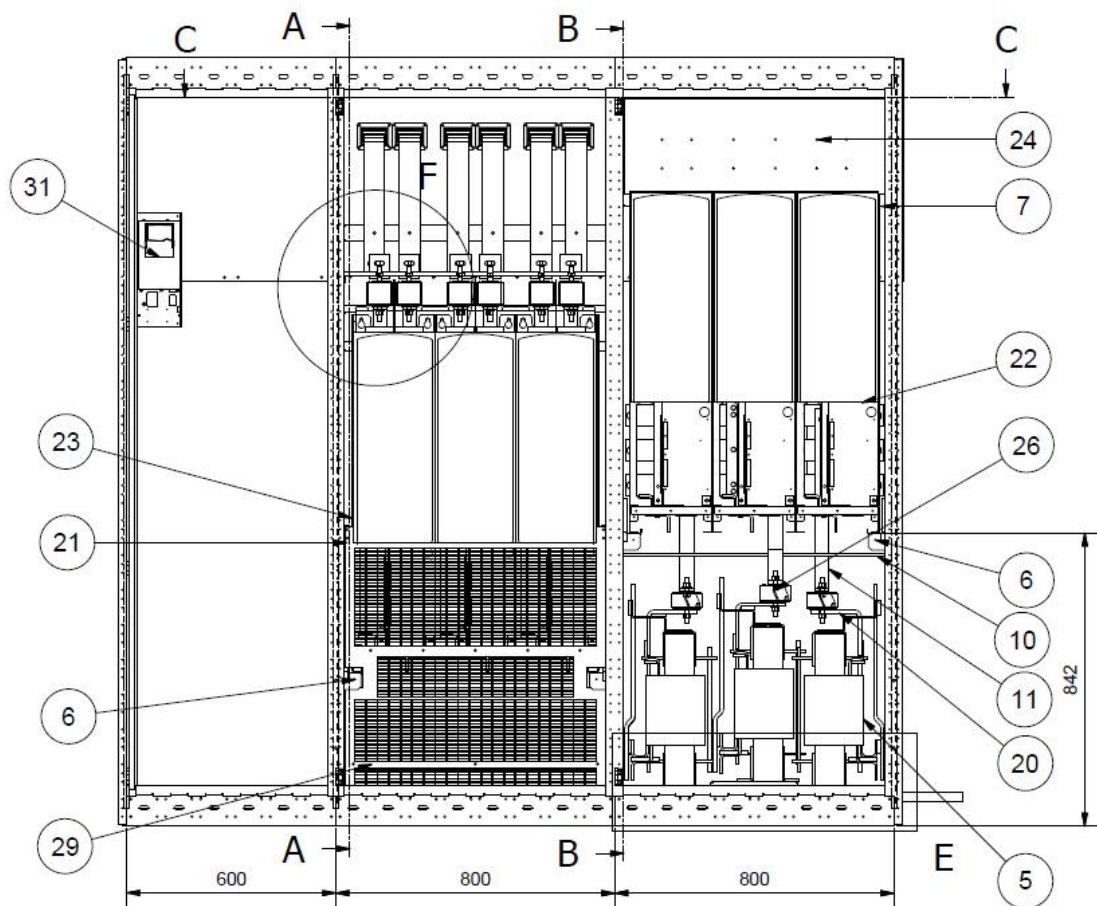
Kuvassa 26 on esitetty FR10:n mekaaninen rakenne. Frame 10 kokoonpanon lajimerkki on LDN0600M1011. Tämän mekaanisen rakenteen leveys on 600 mm eli se on samaa kokoluokkaa kuin frame 4:n leveämpi versio. Kuvan 26 mekaanisen mallin osia ovat muun muassa (nimikkeen nimi ja nimiketunnus): kiinnitysrauta (1) (LDS0602K1001), kannatinrauta (2) (LDS0501K1001), kapea sivuilmasulku (5) (LDA07C4K1001), sivuilmasulku, tiivistelevy (7) (LDA07C5K1001), etuilmasulku (8) (LDA0502K1001) ja asennusalusta (12) (LDM0603K1001).



**Kuva 26.** FR10:n mekaanisen ratkaisun rakenne. (VEO 2010)

FR-tunnuksilla varustettujen mekaanisten ratkaisujen lisäksi VEO:lla on FI-merkkisiä ratkaisuja. FI-laitteet ovat inverttereitä, jotka toimivat esimerkiksi common DC-yksiköissä lähtöyksikköinä. FI9 (200A) on VEO:n laitteista pienin ja FI13 (1000A) suurin. Vastaavasti taajuusmuuttajapuolella on käytössä laitteet FR9 - FR13.

Kuvassa 27 on esitetty perusasennus (FR13), jossa käyttökojeisto on jaettu kolmeen osaan. Eniten oikealla sijaitsevassa osassa (B-E) sijaitsee syöttöyksikkö (NFE), jossa vaihtovirta (AC) muutetaan tasavirraksi (DC). Virran kulkusuunta on käyttökojeiston alaosa ylöspäin kohti yläosassa sijaitsevaa DC-kiskostoa. DC-kiskostoa pitkin tasajännite siirtyy käyttökojeiston keskimmäiseen osioon (A-B). Kuvassa 27 AC/DC- ja DC/AC- muunnokset tekevät yksiköt on merkitty numeroilla 22 ja 23. Kaapissa vasemmalla sijaitseva 600 mm leveä osio on ylimääräinen tila mahdollista  $du/dt$ -suodatinta (DUT-suodatin) varten. Tätä suodatinta käytetään 690 V jännitteillä lähes poikkeuksetta.



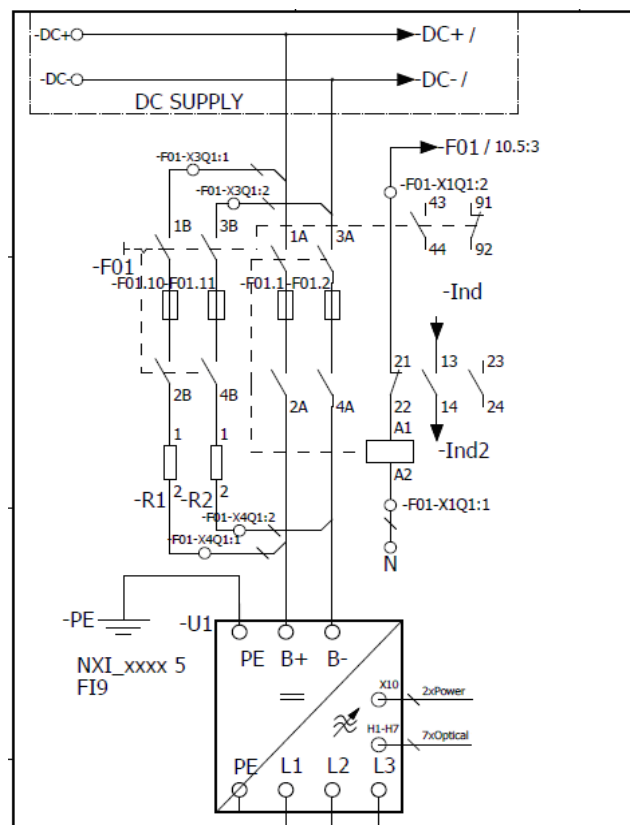
**Kuva 27.** Kojisto FR13. (VEO 2010)

Kojeistossa (FR13) käytettävä NFE on yksi syöttöyksikkötyyppi, joka perustuu tyristoritekniikkaan. NFE:tä voidaan kutsua siis tyristoritasasuuntaajaksi. NFE on yksisuuntainen eli sen avulla ei voi hyödyntää moottoreista saatavaa jarrutustehoa. Se pystyy siis syöttämään energiaa kiskostoon ja sitä kautta invertteriyksiköihin, mutta ei pysty palauttamaan jarrutustilanteissa energiaa verkkoon. Koska energian palauttaminen verkkoon ei onnistu, NFE tarvitsee jarrukatkojyksikön (BCU, Brake Chopper Unit) ja jarruvastukset (vastusjarrutus), joilla ylimääräinen jarrutusenergia voidaan muuttaa lämmöksi.

BCU on yksisuuntainen tehomuunnin, joka purkaa yhteisessä DC-kiskostossa syntyvän ylimääräisen energian jarruvastuksiin lämpönä. BCU tarvitsee aina ulkoisen vastuksen tai useita ulkoisia vastuksia. Mikäli jarrukatkojyksiköjä käytetään, jarrutusenergia menee hukkaan. Linjakäytöissä jarrutusenergia hukkuu muun muassa pumpuille ja puhaltimille, jos sitä ei voida palauttaa takaisin valtakunnan sähköverkkoon tai muuttaa lämpöenergiaksi jarrukatkojyksikön avulla.

#### 5.1.2. Linjakäyttöihin liittyvät sähköiset piirikaaviomallit

Kuvassa 28 on esitetty osa VEO:n sähköisestä piirikaaviomallista, jossa käytetään Vaconin invertteriä. Kyseessä on vakioidun Eplan- piirikaaviomallin (INU\_380-500 FI9) osa, jossa tasajännitteen syöttö tapahtuu DC-kiskoston avulla. Tämän kiskoston jännite voi olla 700 - 1100 V, joka on arvoltaan noin 1,3 kertainen syötön nimellisjännitteeseen verrattuna. DC-kiskostolta jännite menee 2-napaiselle kytkinvarokkeelle, joka sisältää latauspiirin. Latauspiiri kommunikoi invertterin kanssa (kuva 28, kohta F01), minkä seurauksena F01 antaa tiedon kun lataus on suoritettu. Kytkinvarokkeen salliessa virta pääsee kulkemaan invertterille (B+, B-). INU\_380-500 FI9 -piirikaaviomalli on nähtävissä kokonaisuudessaan liitteessä 1.



**Kuva 28.** Kojeistomallin osa, jossa on DC-kiskosto, etukoje, invertteri ja moottorilähdöt (L1, L2, L3). (VEO)

DC-kiskosto (DC-syöttö) on yleensä kuparista valmistettu, tasasähköä johtava kokonaisuus. Kupari on suhteellisen kallis raaka-aine, mutta sitä käytetään hyvän sähkönsäilytyksen takia. Puhtaista metalleista ainoastaan hopealla on parempi sähkönsäilyvyys kuin kuparilla. DC-kiskoston tasavirta johdetaan etukojeelle, jossa on pääkytkin, 2-napainen kytkinvaroke ja latauspiiri. Latauspiiriä käytetään rajoittamaan latausvirtaa ja näin estämään sulakkeiden palaminen. VEO:n malleissa (FR4-FR8) lataus on toteutettu sisäisesti, mutta mallit (FI10-FI14) tarvitsevat ulkoisen latauksen. Ulkoinen lataus tarkoittaa sitä, että latausvastukset tulee sijoittaa fyysisesti tiettyyn kohtaan kojeistossa. Latauksen suorittamisen jälkeen (F01 antaa tiedon valmiista latauksesta) 2-napaisen kytkinvarokkeen kytkimet sulkeutuvat ja tasavirta pääsee kulkemaan invertterille.

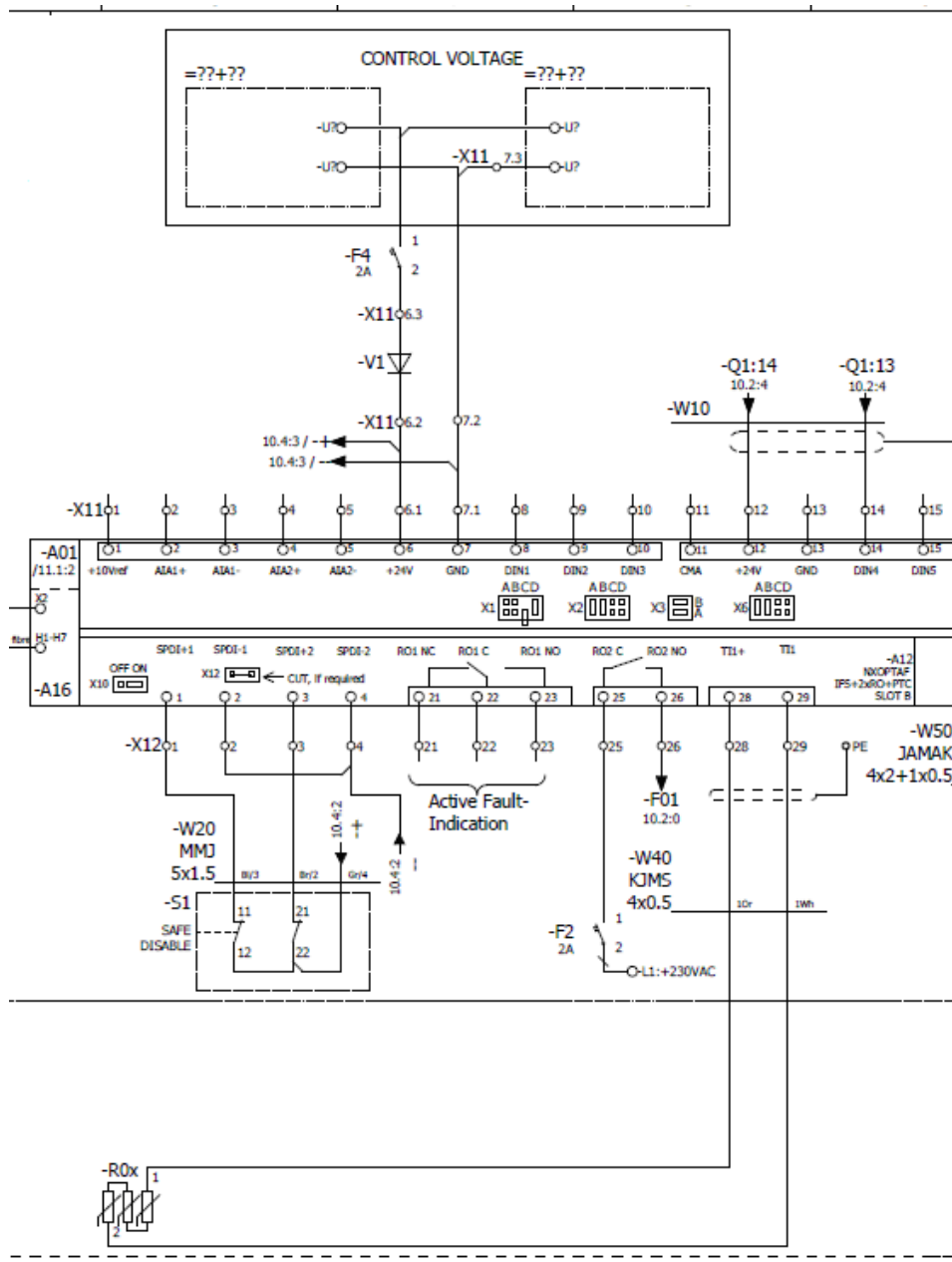
Aiemmin todettiin (kappale 2.4.2, Vaihtosuuntaajayksiköt), että latauspiiriä käytetään silloin, kun jännitteeseen DC-kiskostoon halutaan liitännämahdollisuus. Invertterin ja DC-kiskoston välillä on siis pääkytkin, jonka avulla jännitteen syöttö DC-kiskostosta

invertterille voidaan katkaista. Kytkimen ollessa auki, jännite (700 - 1100 V) ei pääse invertterille DC-kiskostosta. Kytkimen avulla voidaan siis yksi käyttökojeiston osa muuttaa jännitteettömäksi, jolloin voidaan suorittaa käytön aikaisia huoltotoimenpiteitä (muut osat ovat käytössä). Jos latauspiiriä (kytkin) ei ole, koko käyttökojeisto tulee saat-  
taa jännitteettömäksi ennen huoltotoimenpiteitä (ennen yhden osan vaihtoa).

Invertterillä tapahtuu tasavirran muuttaminen vaihtovirraksi. Invertteri on maadoitettu (PE) ja vaihtovirta siirretään eteenpäin kolmen johtimen (L1, L2, L3) avulla. Johtimet kulkevat ferriittirenkaiden läpi (kuva 29, FERR), joiden tarkoituksena on estää moottorin laakerien kuluminen. Laakerivirtojen ehkäisyssä voidaan käyttää myös eristettyä laakeria, josta laakerivirta ei voi mennä läpi. Eristetyn laakerin keraaminen rakenne estää laakerivirtojen pääsyn lävitseen. Laakerivirtojen poistaminen ja ehkäisy pidentävät sähkömoottorin käyttöikää huomattavasti. Laakerivirrat aiheutuvat taajuusmuuttajan toiminnasta eli siitä, että se syöttää moottorille huonolaatuista jännitettä. Taajuusmuuttajia käyttämällä säästetään energiaa, mutta varjopuolena niiden käytöstä on aiheutunut moottorien laakerien nopea kuluminen (säännölliset kulumakuviot laakerien vierintäpinnoilla).

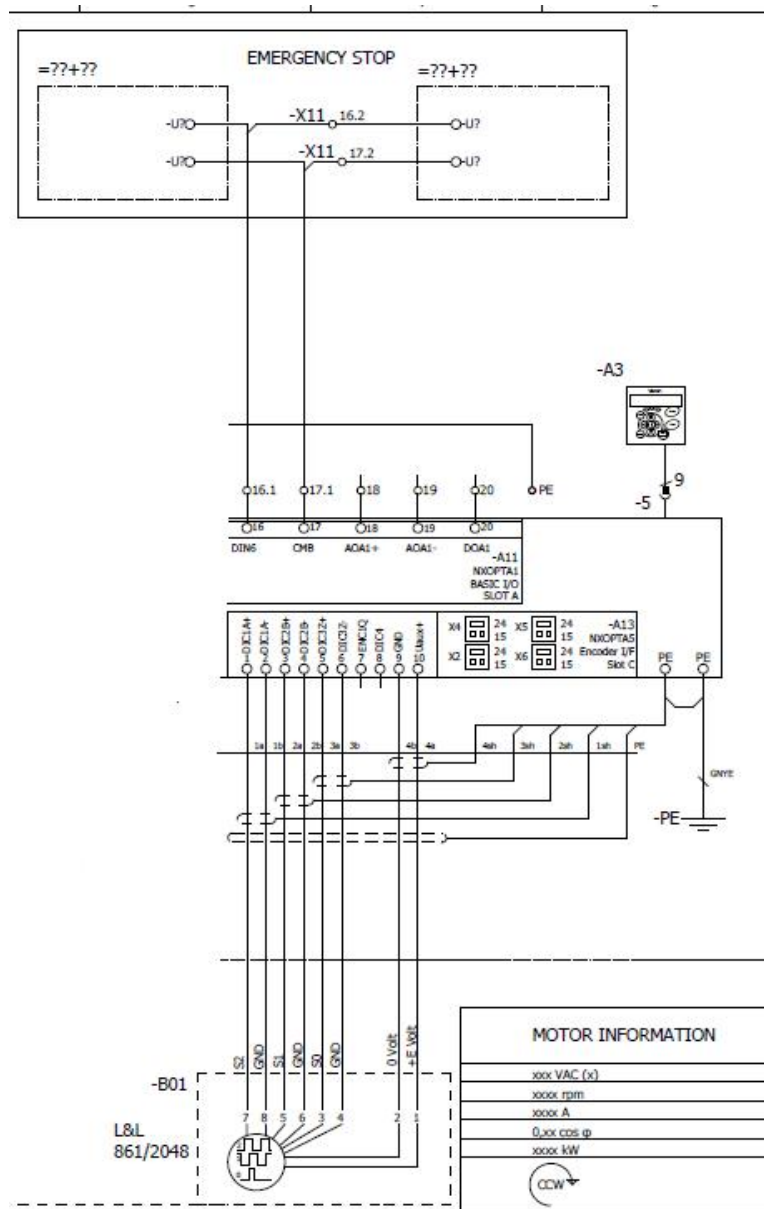
Ferriittirenkailta virta kulkee DUT-suodattimelle, jossa lasketaan jännitteen muutosta ajan suhteen ( $du/dt$ ). DUT-suodatin tasoittaa siis invertterin aiheuttamia jännitepiikkejä. DUT-suodattimen ja moottorin välissä on vielä turvakytkin, jonka avulla moottorilta saadaan sähköt pois. Moottorin sähkönsyöttö voidaan katkaista turvakytken (Q1) avulla vikatilanteissa. Tiedonvälitys kytkimen ja invertterin välillä tapahtuu 24 V:n jännitteen avulla, joka käy kytkimellä ja vie tiedon invertterille. Invertterin ja kytkimen välinen tiedonsiirto on esitetty kuvassa 29, kohdassa (Q1:13, Q1:14). Turvakytken ollessa kiinni invertteriltä tuleva kolmivaiheinen vaihtojännite pääsee moottorille ja saa aikaan tietyn pyörimisnopeuden. Turvakytkin ja sähkömoottori kuuluvat käyttökojeiston ulkopuoliseen (external) osaan. Tässä sähköisessä piirikaaviomallissa käyttökojeiston ulkopuoliset osat on erotettu katkoviivalla.





**Kuva 30.** Piirikaavion osa, joka sisältää ohjausjännitejakelun kaavion. (VEO)

Hätä-seis -piirin (emergency stop) tarkoituksena on ottaa hätätapauksissa energia pois laitteelta mahdollisimman nopeasti. Hätä-seis -piiri on esitetty kuvassa 31. Se voi antaa moottorille nollanopeusohjeen, jolloin moottori pysähtyy mahdollisimman nopeasti (moottorin jarrutus). Nollanopeusohjeen antamisen jälkeen järjestelmä päättyy aina jännitteettömään tilaan. Tällä estetään hätätilanteissa mahdollisten lisävahinkojen syntyminen. Moottorin jarrutusenergia syötetään takaisin valtakunnanverkkoon.



**Kuva 31.** Häätä-seis -yksikkö, osa invertteristä ja moottorissa sijaitseva takometri. (VEO)

Takometri (nopeudensäädön anturi) sijoitetaan moottoriin, ja tässä piirikaaviomallissa sen pulssiluku on 2048 pulssia/kierros (861/2048). Nämä pulssiluvut ovat toistensa kerennaisia eri takometrimalleissa. Toinen yleinen takometreissä käytettävä pulssiluku on 1024 pulssia/kierros. Takometrin antama pulssiluku luetaan invertterillä ja se tulee valita sellaiseksi, että invertteri ehtii sen lukea. Pulssiluku (2048 pulssia/kierros) on tässä tapauksessa oikea, sillä invertterin on mahdollista rekisteröidä se. Kun invertteri ehtii



lukea takometrin antaman pulssiluvun, seurauksena on tarkempi moottorin nopeuden säätö. Takometriä valittaessa täytyy ottaa huomioon moottorin pyörimisnopeus ja in-vertterin pulssitulon maksimitaajuus.

## 5.2. Käyttöprojektien laskentatyökalut

VEO:n Excel-pohjainen laskentatyökalu käsittelee kojeistojen asennustöihin kuluvia aikoja, materiaalien määriä, materiaalien hintoja, tuntihintoja, katteita ja kokonaishintoja (VKO-hinta). VKO-hinta (Vaasa kojeistot-hinta) on se hinta, jolla VEO ostaa Vaasa kojeistoilta valmiin kojeiston tai kojeiston osan. VKO-hintaan vaikuttavat materiaalien kustannukset ja asennukseen kuluva aika.

VEO suorittaa asiakkaalleen (asiakkailleen) kyselyn, jonka perusteella suoritetaan kojeistokeskuksen kokoaminen. Kojestokeskuksen hahmottaminen tapahtuu kuvan 32 mukaisen laskentatyökalun osan avulla. Kuvan 32 alareunassa on koottuna kaikki kyseiseen kojeistokeskukseen tarvittavat komponentit. Tässä ratkaisussa komponentteja ovat syöttöyksikkö (infeed section), mittaus- ja säätölaitteet, kaapelikentät, syöttöyksiköt ja kuormakytkimet. Kuvan 32 alaosassa on siis kokonaisuus, joka myydään asiakkaalle. Se on selkeä havainnollistus siitä kojeistokeskuksesta, jonka asiakas saa. Osia voidaan vaihtaa vielä ennen lopullista kauppaa.

Laskentamalliin lisätään myös tarvittavat komponenttimäärät (1,2, ...), joiden perusteella hintojen laskennassa päästään eteenpäin. Esimerkiksi NFE-syöttö tarvitsee yhden kojekentän (600 x 2000 mm) ja tehonmuuntimen (2x FI9 NFE 650 A), jonka mitat ovat (400 + 600 x 2000 mm). Toinen esimerkki NFE-syötön tarvitsemista osista on kojekenttä 800 mm (800 x 2000) ja tehonmuunnin (3x FI9 NFE 650 A). Muiden komponenttien osalta huomioidaan muun muassa väyläsegmenttien, väylälaitteiden (Canbus, Profibus) ohjainkorttien (setti A1, A2, A4, A5, ...), latauspiirien ja yksikkökohtaisten jakelujen (24 V, 230 V) kappalemäärät.

Excel-laskennassa käytettävät tiedot perustuvat faktoihin ja laskennassa saavutetut tulokset voivat vaihdella korkeintaan 1 %:n verran suuntaan tai toiseen. Materiaalien, komponenttien ja kokonaisuuksien hinnat eivät ole arvioita, vaan todellisia lukuja. Kuvassa 33 on esitetty Excel-laskentamallin osa, jossa on luetteloitu eri ryhmät ja niihin liittyvät tiedot materiaaleista ja asennusajoista (Laskenta-välilehti). Tähän laskentaoosioon kuuluu myös VKO-hinnan laskenta kunkin ryhmän kohdalla. Jokaisen ryhmän VKO-hinnat lasketaan yhteen, jolloin saadaan tuloksena kokonaishinta (VKO). Tämä

kokonaishinta on se rahamäärä, jonka VEO maksaa Vaasa Kojeistoille valmiista tuotteesta.

Valmis tuote on kokonaisuus, joka koostuu eri ryhmien komponenteista. Komponentteja sisältäviä ryhmiä ovat muun muassa kojekentät, kaapelikentät, kokoojakiskot, optiot, kytkinvarokelähdöt, taajuusmuuttajälähdöt (Vacon), taajuusmuuttajien syöttökentät, sovitekohtaiset väylälaitteet ja apupiirit, keskuskohtaiset ohjaus- ja apujännitteet, apulaitetilat ja syöttökentät. Esimerkkinä voidaan mainita, että keskuskohtaisten ohjaus- ja apujännitteiden ryhmään kuuluvat ohjausjännitemuuntajat (joiden ohjausjännitteiden arvot ovat: 0,75 kVA, 2 kVA, 5 kVA ja 16 kVA), ohjausjännitejakelu (24 VDC jakelu), johdotimet (10 johdinta, STVS-liitin), vahva johdotus (16 mm<sup>2</sup>) ja valokaarisuojaus.

1	2	A	B	C	D	E	F
	1	Projekti: xx		Tarjousnumero: xx			
	2	Maa: xx		Tekijä: xx			
	3	Tunniste: xx		Päiväys: xx			
	4	(0=IP21, 1=IP31, 2=IP54)					
	5	Kotelointiluokka	1				
	6						
	7			Materiaali		Tila, LxK /mm	As./h
	8			hinta EUR			
	9	Kojekentät (IP31 / 35°C)					
	10			Mat/€		Tila, LxK /mm	As./h
	11		Kojekenttä 300mm leveä	xxx		300x2000	xxx
	12		Kojekenttä 400mm leveä	xxx		400x2000	xxx
	13		Kojekenttä 600mm leveä	xxx		600x2000	xxx
	14		Kojekenttä 800mm leveä	xxx		800x2000	xxx
	15		Kojekenttä 1000mm leveä	xxx		1000x2000	xxx
	16						
	17	Kaapelikentät (IP31 / 35°C)					
+	25						
	26	Kokoojakiskot - Cu/Al - AC/DC					
+	57						
	58	Optiot					
+	87						
	88	Kytkeinvarokelähdöt					
+	98						
	99	Tamulähdöt (Vacon)					
+	179						
	180	Tamujen syöttökentät					
+	190						
	191	Sovitekohtaiset väylälaitteet ja apupiirit					
+	213						
	214	Keskuskohtainen ohjaus- ja apujännite					
+	231						
	232	Apulaitetila - Apulaitteet ym. -välilehti					
+	246						
	247	Syöttökentät - Ilmakatkaisijat					

**Kuva 33.** Osa Excel-pohjaisen työkalun laskentavälilehdestä, jossa on luettelo eri komponenteista, materiaalien määristä ja hinnoista sekä asennusajat. Kuvan ulkopuolelle jää VKO-hinnan laskeva sarake. (VEO)

Laskennassa tapahtuu siis materiaaleista ja asennuksista aiheutuva kustannusten yhteenlasku. Laskenta sisältää kaiken materiaalin, joka vaaditaan kojeistokokonaisuuden (keskuksen) valmistamiseen. Laskennassa voidaan laskea useamman keskuksen hinta. Materiaalien ja asennusten yhteenlasketut hinnat siirretään edelleen Tiedot-välilehdelle. Tiedot-välilehti voi sisältää useamman keskuksen (keskustunnus 1,2,3,4,5,6, ....) VKO-hinnat, työtunnit, materiaalien hinnat ja kenttien lukumäärät. Tiedot-osiossa lasketaan myös kaikkien keskuksien tiedot yhteen, mikä on esitetty kuvassa 34 (kaikki yhteensä). Tämän osion (kaikki yhteensä, HINTA) tiedot siirretään eteenpäin Calctool-työkaluun. Excel-pohjainen laskentatyökalu keskittyy siis vain asennuksiin, materiaalien määriin, tuntihintoihin ja katteisiin. Calctoolissa otetaan huomioon valuuttakurssit, suunnittelun kustannukset, projektinhoidon kustannukset ja muut materiaalit (joita kojeisto ei sisällä). Muita materiaaleja ovat muun muassa kaapeloinnit ja muuntajat, jotka ovat kojeiston ulkopuolella.

	A	B	C	D	E
1	Projekti:	xx	Tarjousnumero:	xx	
2	Maa:	xx	Tekijä:	xx	
3	Tunniste:	xx	Päiväys:	xx	
4					
5					
6					
7	Keskustunnus 1:	xx		KAIKKI YHTEENSÄ	
8	HINTA	xxx		HINTA	xxx
9	TUNNIT	xxx		TUNNIT	xxx
10	MATERIAALI	xxx		MATERIAALI	xxx
11	KENTÄT	xxx		KENTÄT	xxx
12	Asennuksen K1 EUR/h	xxx		Asennuksen K1 EUR/h (ka)	xxx
13					
14	Keskustunnus 2:	xx			
15	HINTA	xxx			
16	TUNNIT	xxx			
17	MATERIAALI	xxx			
18	KENTÄT	xxx			
19	Asennuksen K1 EUR/h	xxx			
20					
21	Keskustunnus 3:	xx			
22	HINTA	xxx			
23	TUNNIT	xxx			
24	MATERIAALI	xxx			
25	KENTÄT	xxx			
26	Asennuksen K1 EUR/h	xxx			

Kuva 34. Excel-kenttä, jonne syötetään tiedot eri keskuksista. (VEO)

VKO-tuntikateprosentti vaikuttaa keskusten lopulliseen, Calctooliin siirrettävään kokonaishintaan. Prosenttia säätämällä voidaan kokonaishintaa joko nostaa tai laskea. Toimenpiteet ovat yleensä asiakaskohtaisia ja perustuvat VEO:n asiakastietoihin.

### 5.3. Työn keskeiset tulokset yleisellä tasolla

Tässä diplomityössä suoritettu tuotteistaminen liittyy läheisesti VEO:n asiakkaisiin ja heidän tarpeisiinsa. Kun asiakas tilaa VEO:lta linjakäyttöratkaisun, se haluaa ratkaisulleen muun muassa tietyn tehoalueen moottorit ja tietyn määrän akseleita. Tämän työn aikana luodut tuotteistetut mallit helpottavat mitoittamisen jälkeistä toimintaa. Laskenta ja suunnittelu ovat keskeisiä mitoittamisen jälkeisiä toimintoja. Tuotteistuspakettien ja tuotteistusmallien avulla yksinkertaistetaan tuotteiden hinnoittelua, laskentaa ja laitemäärittelyä.

Yhtenä työn keskeisistä tuloksista on saavutettu mekaanisille ja sähköisille malleille yhdenmukaiset komponenttimääritteet. Lisäksi työ yksinkertaistaa ja nopeuttaa suunnitteluprosessia, koska laitemäärittely on tehty vakioitujen pohjien mukaan.

Tuotteistusmallit helpottavat poikkeavuuksien (erikoisratkaisujen) suunnittelua, hinnoittelua ja koko prosessin hallintaa. Voidaan sanoa, että muutosten hallinta on helpompaa. Muutokset koskevat yhden tai muutaman osan vaihtoa jo olemassa olevaan vakioituun ratkaisuun. Asiakkaan vaatima muutos ratkaisuun on usein vain pieni osa kokonaisuudesta. Tällöin vakioitua mallia voidaan käyttää pienten muutosten jälkeen, jonka ansiosta säästyy aikaa ja rahaa.

Tuotteen elinkaaren hallintaan liittyvä jäljitettävyyys parantuu vakioinnin ansiosta. Vanhoista, jo poistetuista malleista voidaan saada tiedot esiin myöhemmin tilanteen niin vaatiessa. Esimerkiksi sähkökeskukseen liittyvät dokumentit (mekaaniset mallit, sähköiset mallit, laskenta, sanalliset kuvaukset) ovat löydettävissä, vaikka mallit muuttuvat (taajuusmuuttaja vaihdetaan).

## 6. YHTEENVETO

Linjakäytöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa on jokin syy pyörittää sähkömoottoreita yhdessä. Paperikoneiden linjakäyttöihin kuuluvia keskeisiä osia ovat ohjaustekniikat, syöttöyksiköt, invertterit ja eri käyttöryhmät. Tuotteistuksen tavoitteena on kehittää ja saavuttaa kilpailukykyinen tuote. Tuotteistamisen ensimmäinen asia on kohderyhmien määrittäminen. VEO:lla nämä kohderyhmät ovat suunnittelu, valmistus ja myynti. Tuotteistaminen ja vakiointi liittyvät läheisesti toisiinsa. Sähkötekniisten komponenttien vakiointi on samalla koko tuotteen sisällön toiminnallista määrittelyä. Mikäli vakiointiaste on riittävän suuri, voidaan puhua tuotteistetusta tuotteesta.

Tässä diplomityössä on tutkittu VEO:n paperikoneiden linjakäyttöratkaisuihin liittyviä mekaanisia ja sähköisiä malleja sekä laskentatyökaluja. Työssä on tuotteistamalla luotu vakiopaketteja, jotka selkeyttävät VEO:n linjakäyttöratkaisuja. Vakiopaketit helpottavat myyntityötä, joka perustuu asiakkaan vaatimuksiin. Vakiopakettien luomisen perustana ovat olleet invertterien kehyskoot, virrat ja akselitehot. Tähän työhön liittyneet invertterit ovat olleet nimenomaan Vacon Oyj:n valmistamia. Tuotteistus on siis rajattu koskemaan ainoastaan Vaconin linjakäyttöihin liittyviä laitteita. Kehyskoot vaikuttavat VEO:n käyttökojeistojen fyysiseen kokoon siten, että invertterin koon kasvaessa kasvaa myös käyttökojeiston koko.

Diplomityössä muodostetuilla vakiointiratkaisuilla saavutetaan kustannustehokkuutta, vähennetään suunnittelu-aikaa ja komponenttien määrää. Vakiopaketit sisältävät sisällysluettelot, vakioidut Eplan-piirikaaviot, VEDA-mekaniikkakuvat, hinnoittelutyökalut ja myynti- ja markkinointimateriaalin. Sisällysluettelot antavat tiedon kunkin paketin sisällöstä. Sisältöihin kuuluvat mekaniikkakuvat, piirikaaviot ja valmistusdokumentaatio. Hinnoittelutyökaluina on käytetty Excel-pohjaisia laskentatyökaluja sekä Calctoolia.

Mekaanisiin malleihin, sähköisiin piirikaaviomalleihin, laskentaan ja dokumentointiin liittyvä jatkoprojekti on jo aloitettu VEO:lla. Tämän diplomityön jatkona oleva projekti on tarkoitus suorittaa loppuun vuoden 2012 alkupuolella.

## LÄHDELUETTELO

ABB Industry Oy (2000). ACS 600 Multidrive, oppilaan kansio. Kurssi G330A. Helsinki.

ABB Industry Oy (2001). Tekninen opas nro 1. *Suora momentinsäätö-maailman kehitynein vaihtovirtakäyttötekniikka*. [online]. [siteerattu 27.06.2011]. Saatavana World Wide Webistä: <www05.abb.com>.

ABB Oy (2001). *ACS Multidrive-oppaat (Ilmajäähdytteiset yksiköt, englanninkieliset oppaat)*. 102 s.

ABB Oy (2001). *Sähköinen jarrutus*. Tekninen opas nro.8. 31 s.

ABB Oy (2005). *Special Transformers. Converter Duty Transformers for Variable Speed Drive Application*. 8 s.

ABB Oy (2000). *Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot*. ABB:n TTT-käsikirja. 13. luku. 2000-07.

ABB Oy (2000). *Sähkön laatu*. ABB:n TTT-käsikirja. 4.luku. 2000-07.

Aura, L., A.J. Tonteri (1986). *Sähkömiehen käsikirja 2*. Porvoo: WSOY, ISBN 951-0-13479-1. 373 s.

Bhattacharya, S.K. & De Debashis (2011). *Basic Electrical and Electronics Engineering-I*. India: Dorling Kindersley. ISBN 978-81-317-5604-1. 515 s.

Boldea, Ion, Frede Blaabjerg, Cristian Lascu & Lucian Asiminoaei (2007). High Performance Current Controller for Selective Harmonic Compensation in Active Power Filters. *IEEE Transactions on Power Electronics* 22:5, 1826 - 1835.

- Costas, Michael A. & Safacas N. Athanasios (2007). Dynamic and Vibration Analysis of a Multimotor DC Drive System With Elastic Shafts Driving a Tissue Paper Machine. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54:4, 2033 - 2046.
- Engelberg, Shlomo (2005). *A Mathematical Introduction to Control Theory*. 2. edition. London: Imperial College Press. ISBN 1-86094-570-8. 351 s.
- Fukuda, Shoji (2004). An Auxiliary-Supply-Assisted Twelve-Pulse Diode Rectifier with Reduced Input Current Harmonics. *IEEE Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. Hokkaido University, Sapporo, Japan*, 445 - 452.
- Hyvönen, Eero (2001). *Ohjelmistojen tuotteistaminen ja kaupallistaminen*. Luentokalvot. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos, 23.1.2003.
- Hägglom-Ahnger, U. & P. Komulainen (2000). *Paperin ja kartongin valmistus*. Helsinki, Hakapaino Oy. 280 s.
- Hägglom-Ahnger, Ulla & Pekka Komulainen (2003). *Paperin ja kartongin valmistus*. 3. tarkistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 290 s. ISBN 952-13-1746-9.
- IEC (2002). *Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems*. General Requirements-Rating Specifications for a.c. Power Drive Systems Above 1000 V a.c. and not Exceeding 35 kV. IEC 61800-4. First edition 2002-9.
- Iivanainen, Arto (2011). *VEO in the Industry*. Esityskalvot, 6.4.2011, 14 s.
- Jeftenić, Borislav, Milan Bebić, Leposava Ristić & Saša Štatić (2010). Universal Control Block for Paper Machine Drives. *Industrial Technology (ICIT), 2010 IEEE International Conference on*, 445-450.
- Korpinen, Leena (1998). *Sähkövoimatekniikkaopus*. Luku 6 Sähköliiketoimintaa. Tampere, 6 s.



- Lascu, Cristian, Ion Boldea & Frede Blaabjerg (2004). Variable-Structure Direct Torque Control-A Class of Fast and Robust Controllers for Induction Machine Drives. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 51:4, 785-792.
- Mohan, Ned, T. Undeland & W. Robbins (2003). *Power Electronics, Converters, Application and Design*. 3. Edition. New York: John Wiley & Sons. 824 s. ISBN 0-471-42908-2.
- Mistry, Rajendra V., William R. Finley, Scott Kreitzer & Emam Hashish (2010). An Induction Motor-Keep It Running. *Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC), 2010 Record of Conference Papers Industry Applications Society 57th Annual*, 1-12.
- Mäkelä, Merja (2003). *Paperin laatusuureiden mittaus ja säätö*. Suomen Automaatioseura ry, Helsinki. 111 s.
- Oinonen, Annika (2002). *Asiantuntijapalvelujen markkinoinnin tehostaminen tuotteistamisen avulla*. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Tuotantotalouden osasto. Diplomityö. 105 s.
- Paatero, Jukka (2008). *Energy Economics and Power Plant Engineering*. Ilmastomuutos ja energiatalous. Energiatalouden suunnittelutyö ja seminaari. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 454 s.
- Palsanen, Jaakko (2009). *Paperikoneiden sähkökäytöt*. [online]. [siteerattu 22.6.2011]. Saatavana World Wide Webistä: < [www.papermakerswiki.com](http://www.papermakerswiki.com) >.
- Puranen, Jussi (2006). *Induction motor versus permanent magnet synchronous motor in motion control applications: a comparative study*. Thesis for the degree of Doctor of Science (Technology). Lappeenranta: Digipaino. 147 s. ISBN 952-214-296-4.

- Ray, R.N., D. Chatterjee & S.K. Goswami (2010). Reduction of Voltage Harmonics Using Optimisation-Based Combined Approach. *Power Electronics, IET* 3:3, 334-344.
- Rekola, Jenni (2009). *Kolmitasoiset suuntaajat tasasähköjakaajissa*. Tampereen teknillinen yliopisto, sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. 82 s.
- Rope, Timo (2000). *Suuri markkinointikirja*. 1. painos. Keuruu, Otavan kirjapaino Oy. 645 s. ISBN 952-14-0230-X.
- Rope, Timo (2005). *Suuri markkinointikirja*. 2. painos. Helsinki, Talentum. 645 s. ISBN 952-14-0230-X.
- Sarén, Hannu (2005). *Analysis of the Voltage Source Inverter with Small DC-link Capacitor*. Thesis for the Degree of Doctor of Science (Technology). Lappeenranta:Digipaino. ISBN 952-214-118-6.
- Siemens (2011). *SINAMICS S120 Built-In Units - Modular Motion Control Drives for Complex Tasks*. Siemens AG 2011.
- Sipilä, Jorma (1995). *Asiantuntijapalvelujen tuotteistaminen*. 2. painos. Ekonomia-sarja. Porvoo:WSOY-Kirjapainoyksikkö. 151 s. ISBN 951-0-21012-9.
- Sipilä, Jorma (1999b). *Asiantuntijapalvelujen tuotteistaminen*. 3. painos. Porvoo, WSOY. 151 s. ISBN 951-0-21012-9.
- Sjöblom, Arto (2011). Keskustelu 20.5.2011. Engineering manager, Vaasa Engineering Oy.
- Sjöblom, Arto (2011). Keskustelu 4.7.2011. Vaasa Engineering Oy.
- Ström, Juha-Pekka (2009). *Active  $du/dt$  Filtering for Variable-Speed AC Drives*. Thesis for the degree of Doctor of Science (Technology). Lappeenranta: Digipaino. 127 s. ISBN 978-952-214-888-9.

Talonpoika, Mika (2004). *Syöttöjännitteen jännitehäiriöt paperikoneen sähkökäytössä*.  
Lappeenrannan teknillinen yliopisto, sähkötekniikan osasto. Diplomityö. 79 s.

UPM-Kymmene Kajaani (2004). *Paperikoneet, tuotteet ja markkinat*. PowerPoint-esitys.

Vaasa Service Oy (2010). Service- asennus ja kunnossapito. [online][siteerattu 20.5.2011]. Saatavana World Wide Webistä:  
<[www.vao.fi/Link.aspx?id=1152022](http://www.vao.fi/Link.aspx?id=1152022)>.

Vaasa Engineering Group (2010). Esityskalvot. 36 s.

Vacon (2010). *Vacon NX Products for Common DC Bus Systems*.

Vacon Oy (2011). Vaconin taajuusmuuttajat- markkinoiden laajin valikoima. [online] [siteerattu 20.5.2011]. Saatavana World Wide Webistä:  
<<http://www.vacon.fi/Default.aspx?id=461920>>.

Vacon (2011). *Vacon NXP sovelluspaketti*. [online][siteerattu 5.7.2011]. Saatavana World Wide Webistä: <[www.vacon.fi](http://www.vacon.fi)>.

VAMP Oy (2011). VAMP protection relays. [online][siteerattu 20.5.2011]. Saatavana World Wide Webistä:  
<<http://www.vamp.fi/Suomeksi/Vamp%20Oy/Default.aspx>>.

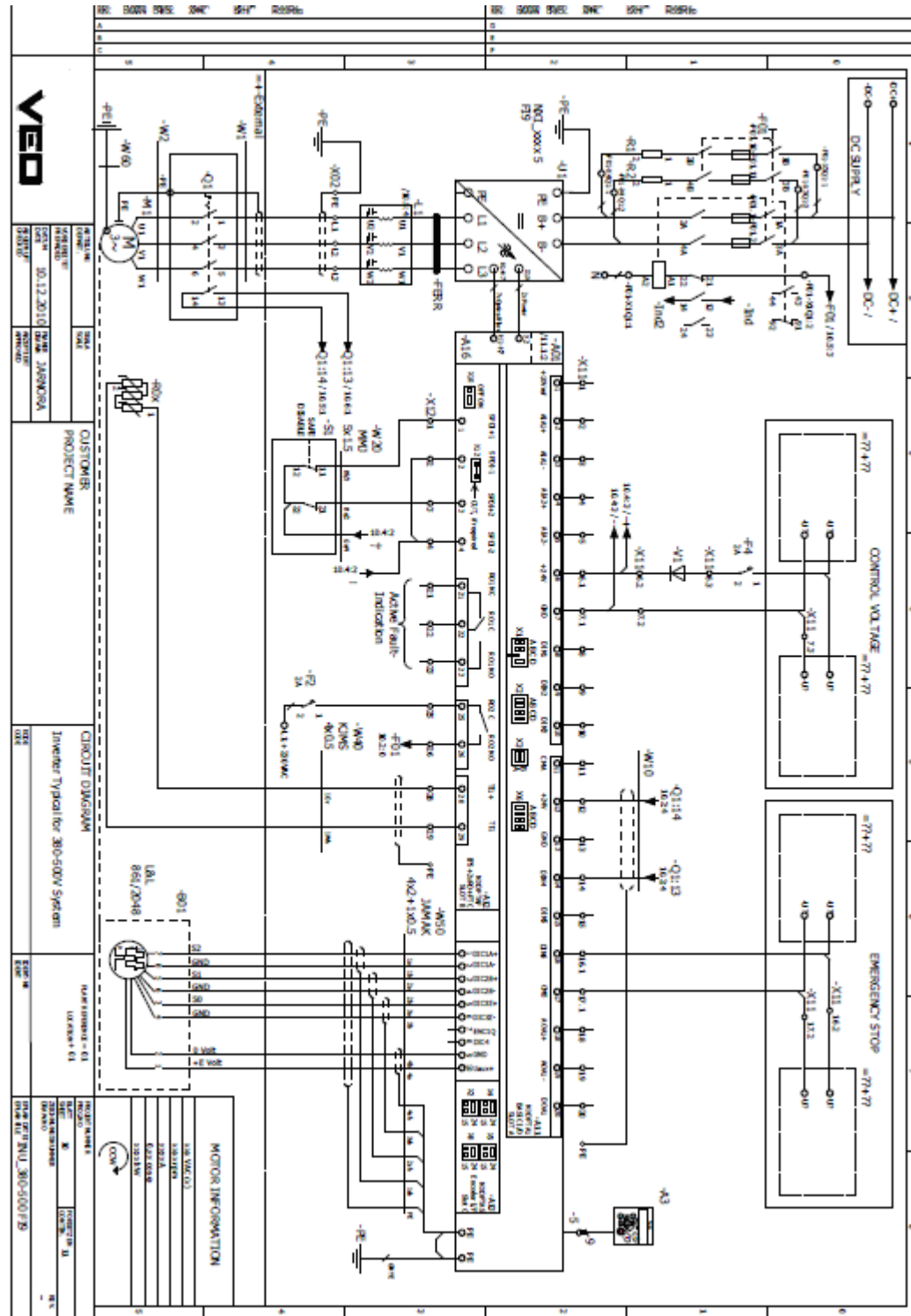
VEO (2010). Perusasennus FR5. OEM-käyttösovellukset, Mekaaniset rakenteet, Vacon. LDN0400M1002.

Zhang, Panfeng & Li Xia (2010). The Application of ACS800 MultiDrive in the Speed Control of Paper Machine. *2010 International Conference on Computer Application and System Modeling, ICCASM 10*, 270 - 273.

## LIITTEET

Liite 1: VEO:n sähköiset piirikaaviomallit.

Kuva 1. Piirikaavio, invertteri 380-500 V järjestelmille (INU\_380-500 FI9).



Kuva 2. Piirikaavio, invertteri 380-500 V järjestelmille (INU\_380-500 FI9).

